

TNO-rapport**TNO 2014 R10426 | Eindrapport****Technisch rapport behorende bij “Effecten
verschillende productiescenario’s op de
verdeling van compactie in het Groningen veld
in de periode 2014 tot en met 2016”****Energie**
Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrechtwww.tno.nlT +31 88 866 42 56
F +31 88 866 44 75

Datum	7 maart 2014
Auteur(s)	Dr. K. van Thienen-Visser, Dr. J.N. Breunese
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	92 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	9
Opdrachtgever	
Projectnaam	C1-Trillingen
Projectnummer	060.07751/01.02

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2014 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	8
2	Analyse van de vraagstelling	10
3	Aanpak	11
3.1	Dynamisch model	11
3.2	Compactiemodel	14
3.3	Partiticoëfficiënt	15
3.4	Relatieve toename/afname van seismische dreiging	16
3.5	Onzekerheden	16
4	Situatie in januari 2014	18
5	Drukgradiënten en compactiegradiënten	22
5.1	Harkstede blok en Eemskanaal cluster	27
5.2	Resultaten scenario's in termen van compactie, partiticoëfficiënt en relatieve toename seismische dreiging	27
6	Het scenario van het kabinetsbesluit (42,5_3)	29
6.1	Gevolg van verandering in productiefilosofie in termen van energie die seismisch kan vrijkomen	29
6.2	Relatieve toename/afname seismische dreiging	33
6.3	Effect op volledige versus minimale productiestop in Loppersum	34
6.4	Gevolgen van verandering in productie nabij Hoogezand	37
7	Effect van terugschroeven productie naar 40, 35 en 30 miljard Nm³ per jaar	40
8	Beantwoording van de vragen	43
9	Referenties	46
10	Dankwoord	47
11	Ondertekening	48
A.	Appendix A: Compactie eind december 2016	49
B.	Appendix B: Toename compactie 2014 tot en met 2016 voor de productiescenario's	54
C.	Appendix C: partiticoëfficiënt eind 2016 voor de productiescenario's	59
D.	Appendix D: Toename partiticoëfficiënt 2014 tot en met 2016 voor de productiescenario's	64
E.	Appendix E: Genormaliseerde toename partiticoëfficiënt 2014 tot en met 2016 voor de productiescenario's	69
F.	Appendix F: Vergelijking marktvraag scenario	74

G.	Appendix G: Vergelijking 42,5_3 scenario	79
H.	Appendix H: Vergelijking beperkt met volledige productiebeperking Loppersum	84
I.	Appendix I: Vergelijking beperkt met volledige productiebeperking Loppersum	87

Lijst van Figuren

Figuur 3-1. Schematische beschrijving van de gevolgde methodiek	11
Figuur 3-2. Productie van het Groningen veld in de periode 2003-2016.	13
Figuur 3-3. Locaties van de putclusters in het Groningen veld. Verder zijn aangegeven de locaties van de 5 clusters rond Loppersum (LRM, OVS, POS, PAU en ZND), de drie clusters die in de buurt van Hoogezand liggen (FRB, KPD en SLO), de Harkstede clusters (HRS) en het Eemskanaal cluster (EKL) waarvan alleen EKL-13 in het Harkstede blok ligt.	14
Figuur 3-4. Relatie tussen partiticoëfficiënt en compactie (m) gebruikt in deze studie (TNO) en de NAM (2013) relatie.	15
Figuur 4-1. Druk in bar volgens het reservoir model in januari 2014. De zwarte lijn op $x=246000$ m geeft de positie van doorsnede in Figuur 5-3 aan. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.	19
Figuur 4-2 Totale compactie (m) in januari 2014. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.	20
Figuur 4-3. Partiticoëfficiënt in januari 2014. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.	21
Figuur 5-1. Porositeit trendkaart voor de USS.2.res zone berekend door NAM. Zwarte ruiten geven de putten weer. De rood-wit-blauwe cirkels geven het verschil tussen berekende en geobserveerde bodemdaling aan (rood = meer bodemdaling berekend dan geobserveerd).	24
Figuur 5-2. Druk in januari 2017 voor het 42,5_3 scenario. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.	25
Figuur 5-3. Doorsnede op $x=246000$ m (voor positie zie Figuur 5-2) door de druk in januari 2014 en in januari 2017 voor het 42,5_3 scenario en het marktvaag scenario.	25
Figuur 5-4. Drukverschil tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario 42,5_3. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.	26
Figuur 5-5. Doorsnede op $x=246000$ m door de compactie in januari 2014 en in januari 2017 voor het 42,5_3 scenario en het marktvaag scenario.	26
Figuur 6-1. Totale compactie (m) in 2017 voor het scenario waarbij de productie van de vijf Loppersum clusters maximaal 3 miljard Nm^3 is voor de jaren 2014, 2015 en 2016 (42,5_3 in Tabel 3.1). De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.	30
Figuur 6-2. Verschil in compactie (m) tussen januari 2017 en januari 2014 voor het scenario 42,5_3. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De	

topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.	31
Figuur 6-3. Genormaliseerde toename van de partiticoëfficiënt tussen 2014 en 2017 voor het scenario waarbij de marktvraag als uitgangspunt geldt. Een waarde van 'nul' betekent geen verschil, een waarde van '1' betekent dat de partiticoëfficiënt zal verdubbelen in deze periode. Het maximum van de genormaliseerde toename bedraagt 2, wat een verdrievoudiging betekent. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.	32
Figuur 6-4. Genormaliseerde toename van de partiticoëfficiënt tussen 2014 en 2017 voor het scenario 42,5_3. Een waarde van 'nul' betekent geen verschil, een waarde van '1' betekent dat de partiticoëfficiënt zal verdubbelen in deze periode. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.	33
Figuur 6-5. Verschil in relatieve seismische dreiging tussen het kabinetsbesluit scenario en het scenario wat de marktvraag volgt.	34
Figuur 6-6. Totale compactie in 2017 voor het scenario waarbij de productie van de vijf Loppersum clusters volledig wordt stilgelegd (42,5_0 in Tabel 3.1). De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.	36
Figuur 6-7. Verschil in compactie (m) tussen volledig stilleggen van de vijf Loppersum clusters en deze met maximaal 3 miljard Nm ³ /jaar produceren. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.	37
Figuur 6-8. Productie in de periode 2010-2016 van het cluster KPD voor de simulaties zoals gedaan met het marktvraag scenario uit 2013 en met het nieuwe scenario 42,5_3.	38
Figuur 6-9. Productie in de periode 2010-2016 van het cluster FRB voor de simulaties zoals gedaan met het marktvraag scenario uit 2013 en met het nieuwe scenario 42,5_3.	38
Figuur 6-10. Productie in de periode 2010-2016 van het cluster SLO voor de simulaties zoals gedaan met het marktvraag scenario uit 2013 en met het nieuwe scenario 42,5_3.	38
Figuur 7-1. Verschil in compactie tussen scenario 42,5_3 en het 40_3 scenario (links boven), het 35_3 scenario (rechts boven) en het 30_3 scenario (links onder). De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.	41
Figuur 7-2. Genormaliseerde toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor de scenario's met een 40 miljard Nm ³ (links boven), 35 miljard Nm ³ (rechts boven) en 30 miljard Nm ³ (links onder) jaarlijkse productie en een beperkte productie voor de vijf Loppersum clusters (3 miljard Nm ³ per jaar). Een waarde van '0' betekent geen verschil, een waarde van '1' betekent dat de partiticoëfficiënt zal verdubbelen in deze periode. De rode lijn geeft de	

contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.42

Lijst van tabellen

Tabel 3-1. Naamgeving van de productiescenario's	12
Tabel 3-2. Gerealiseerde jaarlijkse productie in miljard Nm ³ over de periode 2014 tot en met 2016 over het hele Groningen veld en de vijf Loppersum clusters (Figuur 3-3).	12
Tabel 5-1. Overzicht van resultaten van de productiescenario's in de appendices ..	27
Tabel 5-2. Overzicht van vergelijkingen tussen productiescenario's in de appendices	28
Tabel 7-1. Vergelijking tussen met kabinetsbesluit scenario (42,5_3) en de productieverlaging scenario's (30_3, 35_3, 40_3).	40

1 Inleiding

Kabinetbesluit

Om het aardbevingsrisico boven het Groningen veld te reduceren heeft het kabinet op 17 januari 2014 besloten de gasproductie van de vijf clusters in het gebied rond Loppersum te verminderen tot maximaal 3 miljard Nm³ per jaar voor de jaren 2014 tot en met 2016 en de productie uit het gehele Groningenveld te maximeren op 42,5 miljard Nm³ per jaar in de jaren 2014 en 2015 en 40 miljard Nm³ in 2016 (EZ, 2014a).

Vraagstelling

Naar aanleiding van het kabinetbesluit zijn door verschillende kamerleden aanvullende vragen gesteld omtrent de effecten van alternatieve productiescenario's. Het ministerie van Economische Zaken heeft deze vragen samengevat en per e-mail van 26 januari 2014 aan TNO gevraagd hierover uitspraken te doen. Het betreft de volgende vragen voor de periode 2014 tot en met 2016:

I. Wat is de mate van risicoreductie van:

- productie volgens het door de NAM ingediende winningsplan in vergelijking met
- productie binnen de randvoorwaarden van het kabinetbesluit?

II. Wat is de mate van risicoreductie van:

- productie binnen de randvoorwaarden van het kabinetbesluit in vergelijking met
- productie gemaximeerd op respectievelijk 40, 35 en 30 miljard Nm³ per jaar,

III. Wat is de mate van risicoreductie in het gebied rond Loppersum bij:

- productie binnen de randvoorwaarde van het kabinetbesluit in vergelijking met
- een volledige productiestop van de vijf betrokken clusters,

IV. Wat is het effect op het risico in het gebied van de zuidelijke clusters bij:

- productie volgens het door de NAM ingediende winningsplan in vergelijking met
- productie binnen de randvoorwaarden van het kabinetbesluit.

V. Wat is het effect van de drukgradiënten die ontstaan door

- productie volgens het door de NAM ingediende winningsplan in vergelijking met
- productie binnen de randvoorwaarden van het kabinetbesluit.

Een eerste indicatief antwoord op de bovengenoemde vragen is vervat in een brief van de minister aan de Kamer (EZ, 2014b). Dit rapport geeft een nadere technische uitwerking en visualisatie.

Leeswijzer

Hoofdstuk 3 geeft de gevolgde aanpak weer vooral waar deze anders is dan in TNO (2013). Hoofdstuk 4 geeft de situatie in januari 2014 weer voor de druk in het veld, de compactie en de partiticoëfficiënt. Hoofdstuk 5 gaat in op drukgradiënten en compactiegradiënten in het veld. Hoofdstuk 6 beschrijft het scenario wat aan de randvoorwaarden van het kabinetsbesluit voldoet en vergelijkt deze o.a. met het scenario wat de markt vraagt. In dit hoofdstuk wordt ook het verschil tussen beperkt produceren en volledig stilleggen van de vijf clusters in Loppersum besproken. Hoofdstuk 7 gaat in op productiebeperking en het effect daarvan. Tenslotte wordt in Hoofdstuk 8 antwoord gegeven op de gestelde vragen. Appendices A tot en met I laten figuren zien voor alle scenario's besproken in dit rapport.

2 Analyse van de vraagstelling

TNO is op dit moment niet in staat om een risicoanalyse voor het Groningen veld te maken. Daartoe ontbreken zowel de benodigde rekeninstrumenten als de daarbij behorende databases van de locaties en kwetsbaarheid van gebouwen en infrastructuur.

Voor de vraagstelling in dit rapport zijn vooral effecten op de grondversnelling relevant. Immers, de grondversnelling is voor een gegeven gebied de bron van schade. Grondversnellingen zijn op hun beurt een functie van het seismisch moment dat afhankelijk is van het product van:

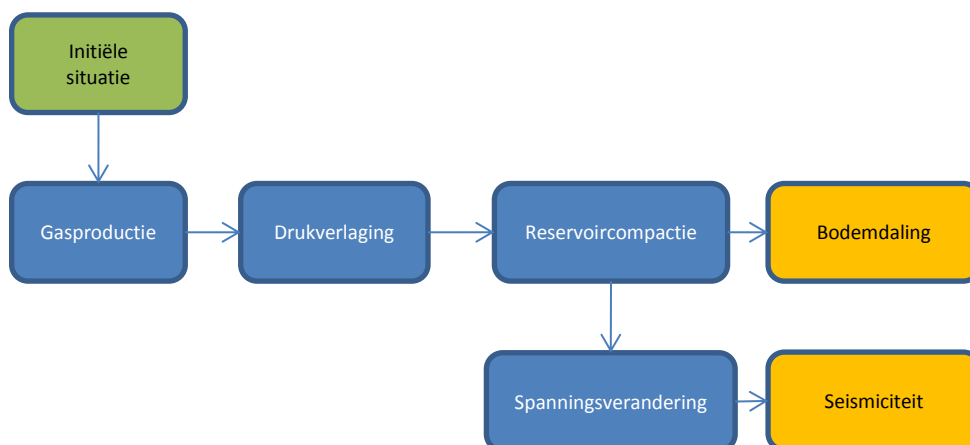
- de reservoircompactie (maat voor het reservoirmoment) en
- de partitiecoëfficiënt (maat voor de omzetting van reservoirmoment in seismisch moment).

TNO heeft deze beide parameters in kaart gebracht voor het Groningen veld, uitgaande van de productiescenario's die zijn benoemd in de vraagstelling. De toename van de waarden van die parameters over de komende 3 jaar geeft een maat voor het effect op het seismisch moment, en daarmee op de grondversnellingen (seismisch dreiging), onder gegeven productiescenario's, gedifferentieerd naar deelgebieden van het Groningen veld.

In een brief aan de Tweede Kamer van 5 februari 2014 (EZ, 2014a) zijn kwantitatief vooral de effecten op de verdeling van de reservoircompactie aangegeven. De invloed van de partitiecoëfficiënt is daarin slechts aangestipt.

3 Aanpak

De gevolgde methode wordt beschreven in TNO (2013) en geïllustreerd met onderstaande Figuur 3-1. Voor zover een andere aanpak dan die in TNO (2013) is gebruikt wordt deze in de volgende paragrafen uiteengezet.



Figuur 3-1. Schematische beschrijving van de gevolgde methodiek

3.1 Dynamisch model

Ten behoeve van de berekening van de ontwikkeling van de drukverdeling in het veld heeft de NAM op 29 januari 2014 een dynamisch reservoir model (MoRes) aangeleverd aan TNO. Dit model is zodanig door de NAM geconditioneerd dat tegemoet wordt gekomen aan de randvoorwaarden van het kabinetsbesluit, waarbij de verdeling van de reservoirdruk buiten het gebied van de Loppersum clusters zo vlak mogelijk is.

TNO heeft de maximaal mogelijke productie in het door de NAM aangeleverde model zodanig ingesteld, dat de productie over het gehele veld, alsook de productie uit de vijf Loppersum clusters zo goed mogelijk overeenkomt met de te onderzoeken productiescenario's die zijn benoemd binnen de vraagstelling. Tabel 3-1 toont de naamgeving van de scenario's en Tabel 3-2 geeft de daarbij behorende te realiseren jaarlijkse productiecijfers over het gehele veld en voor de vijf Loppersum clusters.

De scenario's zijn geïmplementeerd op basis van nieuwe modellen en input files die de NAM op 29 Januari 2014 heeft aangeleverd. Zowel het model dat wordt gebruikt voor de z.g. *history match* als de files voor het doorrekenen van de voorspellingen zijn vernieuwd. Het reservoir model dat is gebruikt in de studie van 2013 was gesimuleerd met historische data tot 1-1-2013. Het nieuwe model is gesimuleerd met historische data tot 1-1-2014. Voor zover bij TNO bekend, is er geen nieuwe *history match* uitgevoerd hetgeen betekent dat de parameters van het model zijn niet veranderd. Wel is de put OPK-4A in het zuiden van het model toegevoegd. Deze put produceert vanaf 2006 uit het Zuidwending-Oost veld en is waarschijnlijk

toegevoegd om de gemeten bodemdaling op deze locatie beter te benaderen met het model.

Tabel 3-1. Naamgeving van de productiescenario's.

Naamgeving	Beschrijving
42,5_3	De productie in 2014 en 2015 is 42,5 miljard Nm ³ , de productie in 2016 is 40 miljard Nm ³ . De vijf Loppersum clusters* produceren niet meer dan 3 miljard Nm ³ . (kabinetsbesluit)
42,5_0	De productie in 2014 en 2015 is 42,5 miljard Nm ³ , de productie in 2016 is 40 miljard Nm ³ . De vijf Loppersum clusters* produceren niet.
40_0	De productie in 2014, 2015 en 2016 is niet meer dan 40 miljard Nm ³ . De vijf Loppersum clusters* produceren niet.
35_0	De productie in 2014, 2015 en 2016 is niet meer dan 35 miljard Nm ³ . De vijf Loppersum clusters* produceren niet.
30_0	De productie in 2014, 2015 en 2016 is niet meer dan 30 miljard Nm ³ . De vijf Loppersum clusters* produceren niet.
40_3	De productie in 2014, 2015 en 2016 is niet meer dan 40 miljard Nm ³ . De vijf Loppersum clusters* produceren niet meer dan 3 miljard Nm ³ .
35_3	De productie in 2014, 2015 en 2016 is niet meer dan 35 miljard Nm ³ . De vijf Loppersum clusters* produceren niet meer dan 3 miljard Nm ³ .
30_3	De productie in 2014, 2015 en 2016 is niet meer dan 30 miljard Nm ³ . De vijf Loppersum clusters* produceren niet meer dan 3 miljard Nm ³ .

* de vijf Loppersum clusters zijn POS, LRM, ZND, PAU en OVS

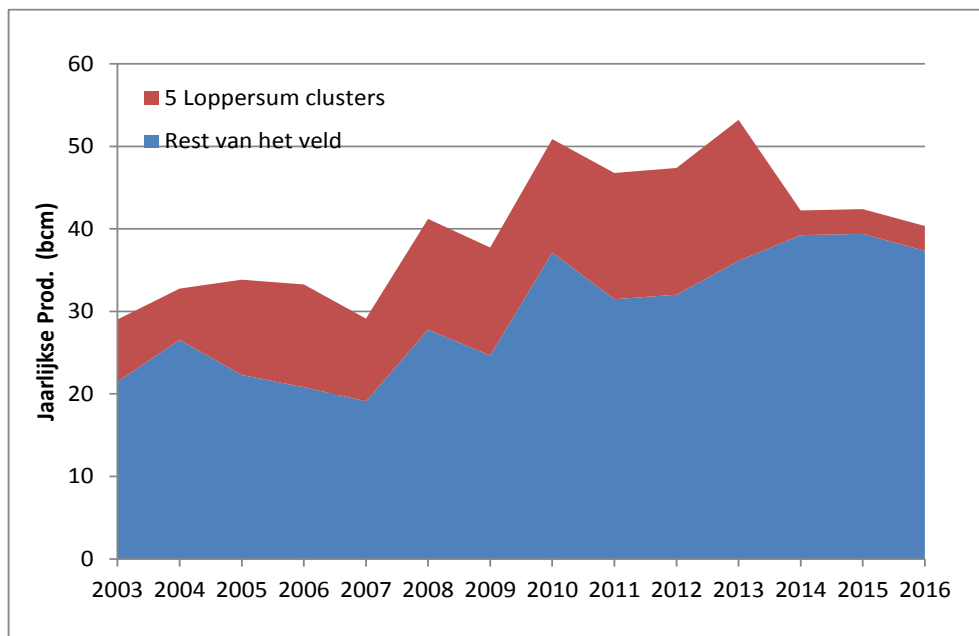
Tabel 3-2. Gerealiseerde jaarlijkse productie in miljard Nm³ over de periode 2014 tot en met 2016 over het hele Groningen veld en de vijf Loppersum clusters (Figuur 3-3).

Scenario	Totale Groningen productie			Productie van de 5 Loppersum clusters (*)		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016
42,5_3	42,2	42,4	40,3	3,0	3,0	3,0
42,5_0	42,2	42,3	40,3	0,0	0,0	0,0
40_0	38,4	39,3	39,8	0,0	0,0	0,0
35_0	33,3	34,3	34,9	0,0	0,0	0,0
30_0	28,4	29,4	29,8	0,0	0,0	0,0
40_3	38,4	39,3	39,9	2,9	2,9	3,0
35_3	33,5	34,2	35,0	2,9	2,8	2,9
30_3	28,7	29,5	29,8	2,7	2,5	2,5

De maximale toegestane waarden van productie (Tabel 3-2) zijn niet altijd gerealiseerd binnen het model. Dit komt doordat de gasopslag in Norg ook in het Groningen productiemodel zit. De maximaal toegestane productie is een sommatie van de productie uit het veld en de productie en injectie in Norg. In sommige jaren wordt er meer gas geproduceerd uit deze gasopslag dan dat er wordt opgeslagen. Over een langere periode (meerdere jaren) is de opslag gemiddeld gelijk aan de productie, maar voor korte periodes (per jaar) kan dat afwijken. Het blijkt dat met

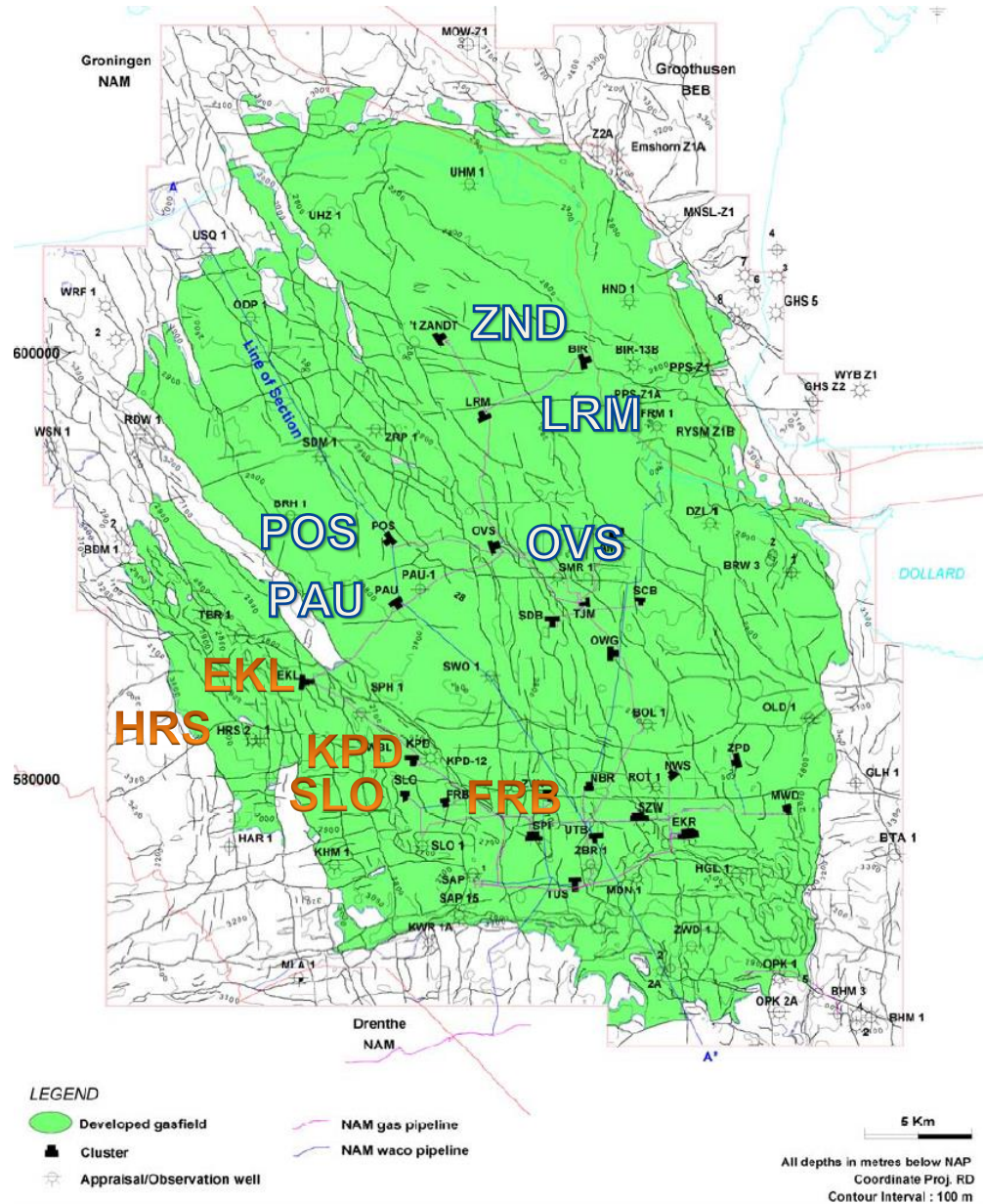
name in de eerste twee jaren na opstarten van een simulatie er meer gas uit Norg wordt geproduceerd dan dat er wordt opgeslagen. Hierdoor wordt de volledige maximale toegestane productie voor het Groningen veld niet gehaald. De simulaties die voldoen aan de maximale producties van het kabinetsbesluit (EZ, 2014a), scenario's 42,5_3 en 42,5_0, zijn zodanig aangepast dat de daadwerkelijke productie uit het Groningen veld de maximaal toegestane hoeveelheid zo dicht mogelijk benadert.

Figuur 3-2 presenteert de productie volgens het scenario waar aan de randvoorwaarden van het kabinetsbesluit wordt voldaan (42,5_3) over de periode 2003 tot en met 2016. Hierin is duidelijk de afname van de productie in de vijf Loppersum clusters te zien voor de periode 2014 tot en met 2016. De toename van productie in de rest van het Groningen veld is in dezelfde periode beperkt (maximaal 3 miljard Nm³ per jaar) omdat de totale productie fors afneemt (van 53,2 miljard Nm³ in 2013 naar 42,2 miljard Nm³ in 2014).



Figuur 3-2. Productie van het Groningen veld in de periode 2003-2016.

Voor het berekenen van de drukverdeling in het veld is het MoRes model met 'moderate' aquifer gebruikt. In (TNO, 2013) is aangegeven, dat dit waarschijnlijk een te sterke aquifer is. In de diverse kaartbeelden lijkt de invloed van die kunstmatig sterke aquifer zichtbaar. Voor het effect op de compactie van de diverse productiescenario's in het Loppersum gebied en het zuidelijke gebied is dit minder belangrijk aangezien het effect van de aquifer tot aan het Loppersum gebied uitstrekt en niet verder naar het zuiden.



Figuur 3-3. Locaties van de putclusters in het Groningen veld. Verder zijn aangegeven de locaties van de 5 clusters rond Loppersum (LRM, OVS, POS, PAU en ZND), de drie clusters die in de buurt van Hoogezand liggen (FRB, KPD en SLO), de Harkstede clusters (HRS) en het Eemskanaal cluster (EKL) waarvan alleen EKL-13 in het Harkstede blok ligt.

3.2 Compactiemodel

Voor de berekening van de compactie is het Rate Type Compactie Model in isotachen formulering (RTiCM), zoals beschreven in TNO (2013), als uitgangspunt genomen. Uit (TNO, 2013) is gebleken dat compactieberekeningen met het RTiCM model de geobserveerde bodemdaling het beste benaderen.

3.3 Partiticoëfficiënt

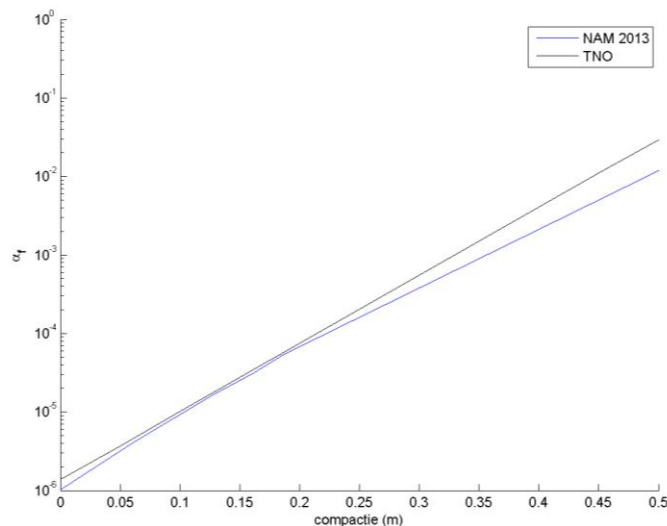
De partiticoëfficiënt geeft de fractie van het reservoir moment dat omgezet kan worden in seismisch moment. Voor de berekening van de partiticoëfficiënt is de formule van NAM (2013) gebruikt:

$$\alpha_f = \frac{e^{f+g\Delta h}}{1 + e^{f+g\Delta h}}$$

De waarden voor de partiticoëfficiënt behorende bij de compactie (Δh) in januari 2014 zijn voor 90,000 verschillende combinaties van f en g berekend. Hierbij is f tussen -2 en 20 gevarieerd en g tussen de 0 en 50 m^{-1} . Daarna is het seismisch moment berekend voor deze partiticoëfficiënt variaties, gebruik makende van:

$$M_0 = 2\mu A \Delta h \alpha_f$$

Hierbij heeft de shear modulus (μ) een waarde van 10 GPa. A is het oppervlak behorende bij een bepaalde compactie in het model. Het seismisch moment is vervolgens vergeleken met het geobserveerde cumulatieve seismisch moment van 1991 (eerste beving geobserveerd) tot januari 2014 ($M_0=1,13 \cdot 10^{15}$). Dit is een benadering aangezien een deel van het cumulatieve seismisch moment niet geregistreerd is vanwege de hogere magnitude van completie van de seismische catalogus voor 1996. De magnitude van completie van de seismische catalogus vanaf 1996 is $M_L=1.5$. Aangezien de grotere bevingen en de bevingen nabij seismische stations voor 1996 wel meegenomen zijn in de berekening van het cumulatieve geobserveerde seismische moment lijkt deze benadering toch redelijk. De waarden van f en g die hieruit volgen zijn $f = -13,5$ en $g = 20 \text{ m}^{-1}$.



Figuur 3-4. Relatie tussen partiticoëfficiënt en compactie (m) gebruikt in deze studie (TNO) en de NAM (2013) relatie.

De gevonden exponentiële relatie tussen de partiticoëfficiënt en compactie blijkt niet veel te verschillen van de relatie van NAM (2013) (Figuur 3-4). Voor de hogere waarden van compactie (>20 cm) wordt een hogere partiticoëfficiënt verkregen

dan NAM (2013). Het verschil loopt op tot $1 \cdot 10^{-2}$ bij een compactie van 50 cm, maar valt binnen de 95% betrouwbaarheids grens zoals berekend door NAM (2013).

3.4 Relatieve toename/afname van seismische dreiging

De partiticoëfficiënt geeft de fractie van het reservoir moment die seismisch kan vrijkomen. De partiticoëfficiënt neemt volgens het aangenomen model exponentieel toe met de compactie., Aan de toename van de partiticoëfficiënt kunnen geen conclusies worden verbonden over de seismische dreiging. Om een indicatie (H) te krijgen van de toename van de seismische dreiging wordt daarom voor de scenario's (sc) het product van de partiticoëfficiënt (α) en de compactie (h) berekend (in dit geval over de periode 2014 tot en met 2016) met:

$$H(sc) = (\alpha_{2017}^{sc} * h_{2017}^{sc}) - (\alpha_{2014}^{sc} * h_{2014}^{sc})$$

Deze indicatie voor seismisch dreiging voor één scenario (sc1) wordt dan afgetrokken van de indicatie van seismische dreiging voor een ander scenario (sc2). Dit geeft een relatieve toename/afname van het seismische dreiging voor de twee vergeleken scenario's.

$$\Delta H(sc1, sc2) = (\alpha_{2017}^{sc2} * h_{2017}^{sc2} - \alpha_{2014}^{sc2} * h_{2014}^{sc2}) - (\alpha_{2017}^{sc1} * h_{2017}^{sc1} - \alpha_{2014}^{sc1} * h_{2014}^{sc1})$$

3.5 Onzekerheden

De resultaten die in dit rapport worden gepresenteerd moeten worden gezien in het licht van de onzekerheden in de modellering en de methodiek. In TNO (2013) worden onder andere de volgende gevoeligheden van verschillende keuzes in methodiek besproken:

- In TNO (2013) worden de onzekerheden in het porositeitsmodel beschreven. Lokaal kan de werkelijke porositeit tot 15% (relatief) afwijken van de gemodelleerde porositeit. Vanwege de niet-lineaire relatie tussen compactie en porositeit en de exponentiële relatie tussen compactie en partiticoëfficiënt, hebben onzekerheden in het porositeitsmodel lokaal grote gevolgen in termen van compactie en partiticoëfficiënt veranderingen en hierdoor ook in veranderingen van de seismische dreiging.
- In het noordwesten van het model is een sterke aquifer gemodelleerd die de drukken in dit gebied beïnvloed. Via de drukken wordt ook de compactie en de partiticoëfficiënt beïnvloed. Gezien de lineaire relatie tussen druk en compactie zijn de gevolgen hiervan minder groot dan van onzekerheden in de porositeit.
- Voor het gekozen RTCiM compactiemodel geldt dat veranderingen in productie binnen afzienbare tijd (orde 1 jaar) een verandering in compactiesnelheid geven. Andere compactiemodellen kunnen trager reageren op drukveranderingen (zoals bijvoorbeeld het Time-Decay model, NAM 2013) waardoor veranderingen in compactie niet binnen de komende 3 jaar zichtbaar zijn voor verschillende productiescenario's (TNO, 2013).

- Voor de berekening van de partiticoëfficiënt binnen de tijdsperiode 2014 tot en met 2016 is aangenomen dat deze een exponentiële relatie heeft met de compactie, zoals gegeven in (NAM, 2013). Verder is aangenomen dat deze relatie voor het gehele veld gelijk is. Binnen de onzekerheidsbandbreedte kan de partiticoëfficiënt (NAM, 2013) echter lager of hoger uitvallen wat al snel een groot effect heeft op het moment wat beschikbaar komt in de vorm van bevingen.

Zoals hierboven wordt toegelicht gaan de resultaten van deze extra berekeningen gepaard met onzekerheden. Met de gevolgde methodiek werken deze onzekerheden op een identieke wijze door in de modelberekeningen voor de verschillende scenario's waardoor een vergelijking tussen scenario's mogelijk blijft.

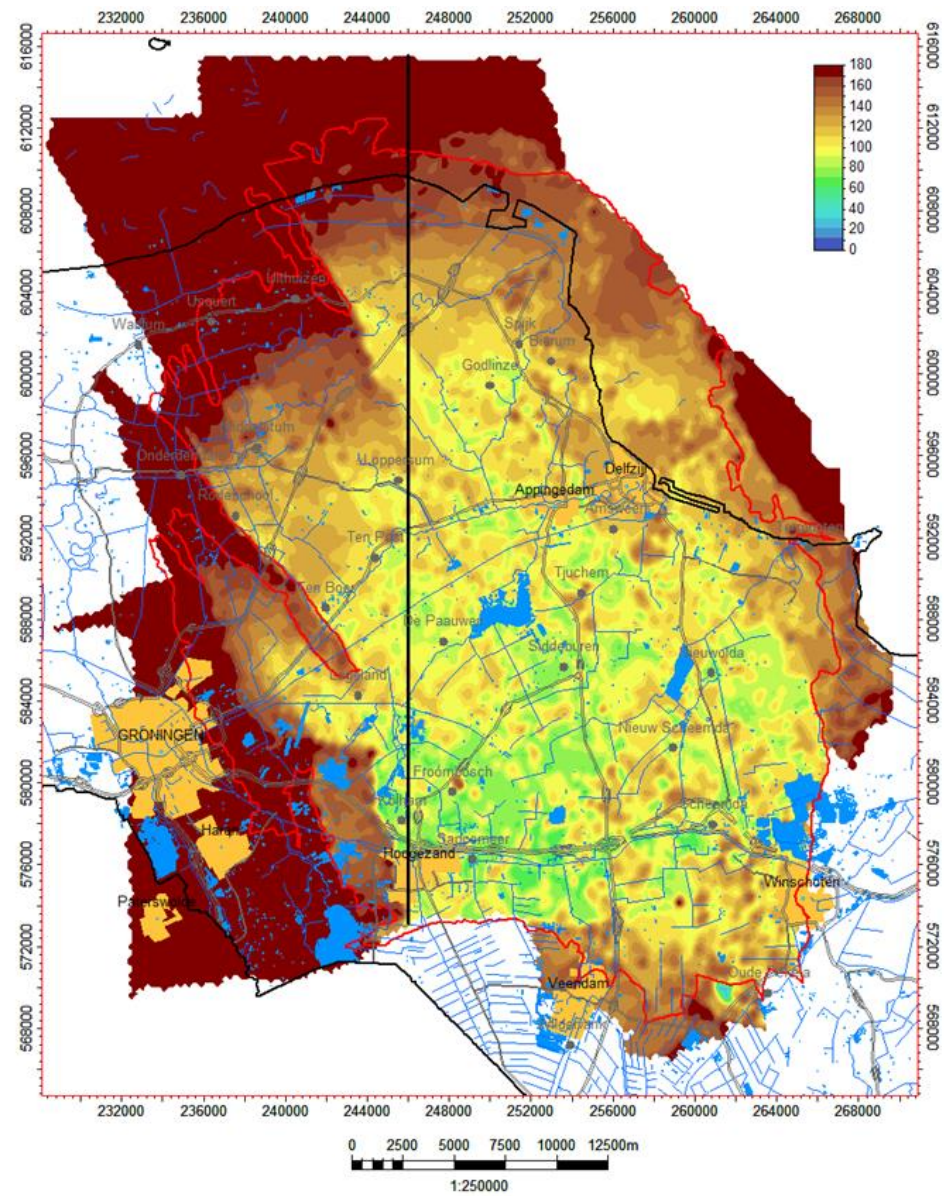
In dit rapport zijn uitsluitend deterministische berekeningen gepresenteerd, uitgaande van de beste schattingen voor parameterwaarden. Een volledig probabilistische benadering, waarin de onzekerheden expliciet zichtbaar worden gemaakt, valt buiten het bereik van deze studie. Het doel van deze studie is om trends aan te geven in de ontwikkeling van de compactie en de seismische dreiging in de komende 3 jaar.

De in dit rapport genoemde cijfers en kaarten moeten als voorlopig en indicatief worden beschouwd. De NAM zal, in het kader van de uitvoering van het winningsplan, berekeningen uitvoeren aan de seismisch dreiging en het seismisch risico. De NAM zal daarbij mogelijk tot een wat andere verdeling van de productie over de diverse clusters komen binnen de door het kabinetsbesluit opgelegde randvoorwaarden. Dit zal leiden tot verschillen met de hier gepresenteerde cijfers en kaarten.

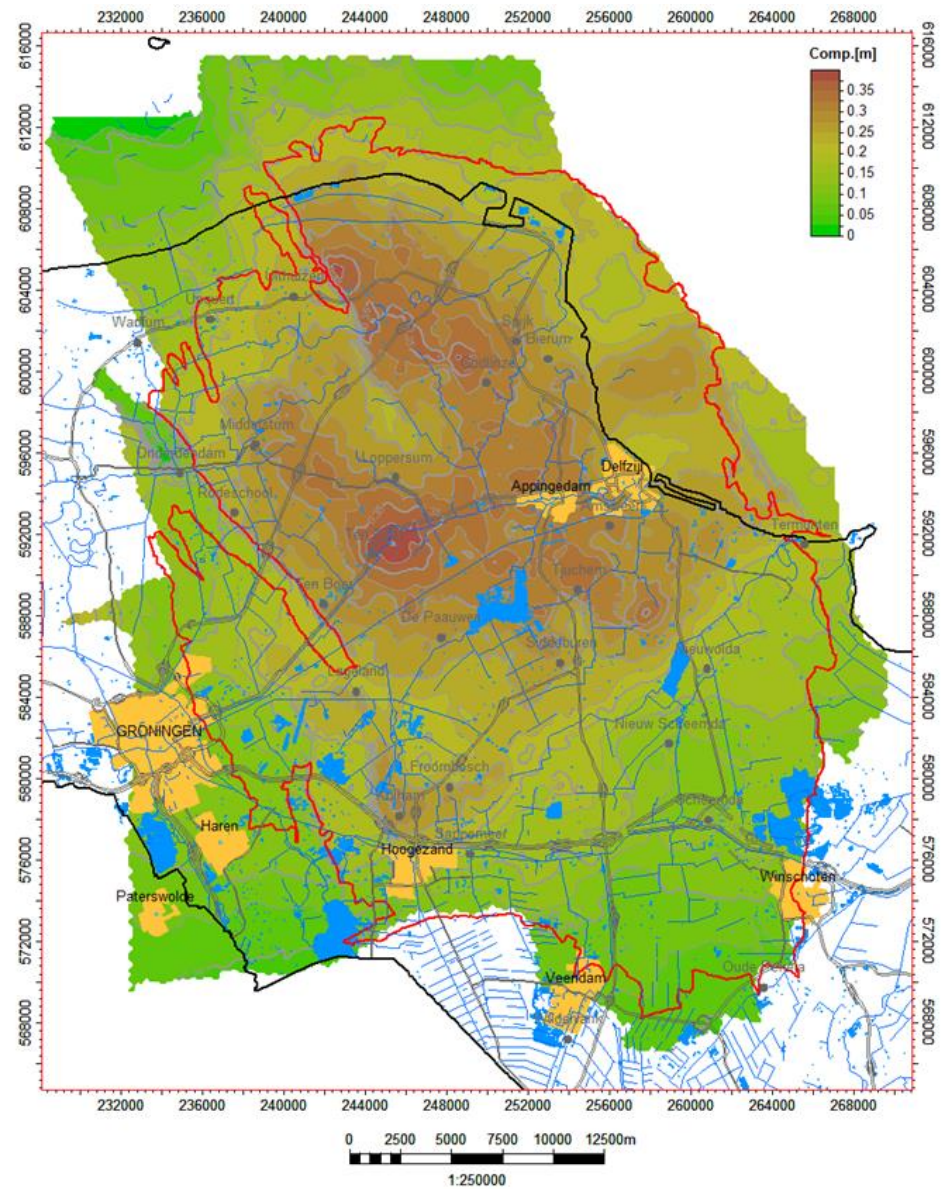
4 Situatie in januari 2014

Het vertrekpunt voor de analyse voor de komende drie jaar is de situatie per januari 2014. Dit betreft de verdeling van de reservoirdruk, compactie en de partiticoëfficiënt over het gehele Groningen veld.

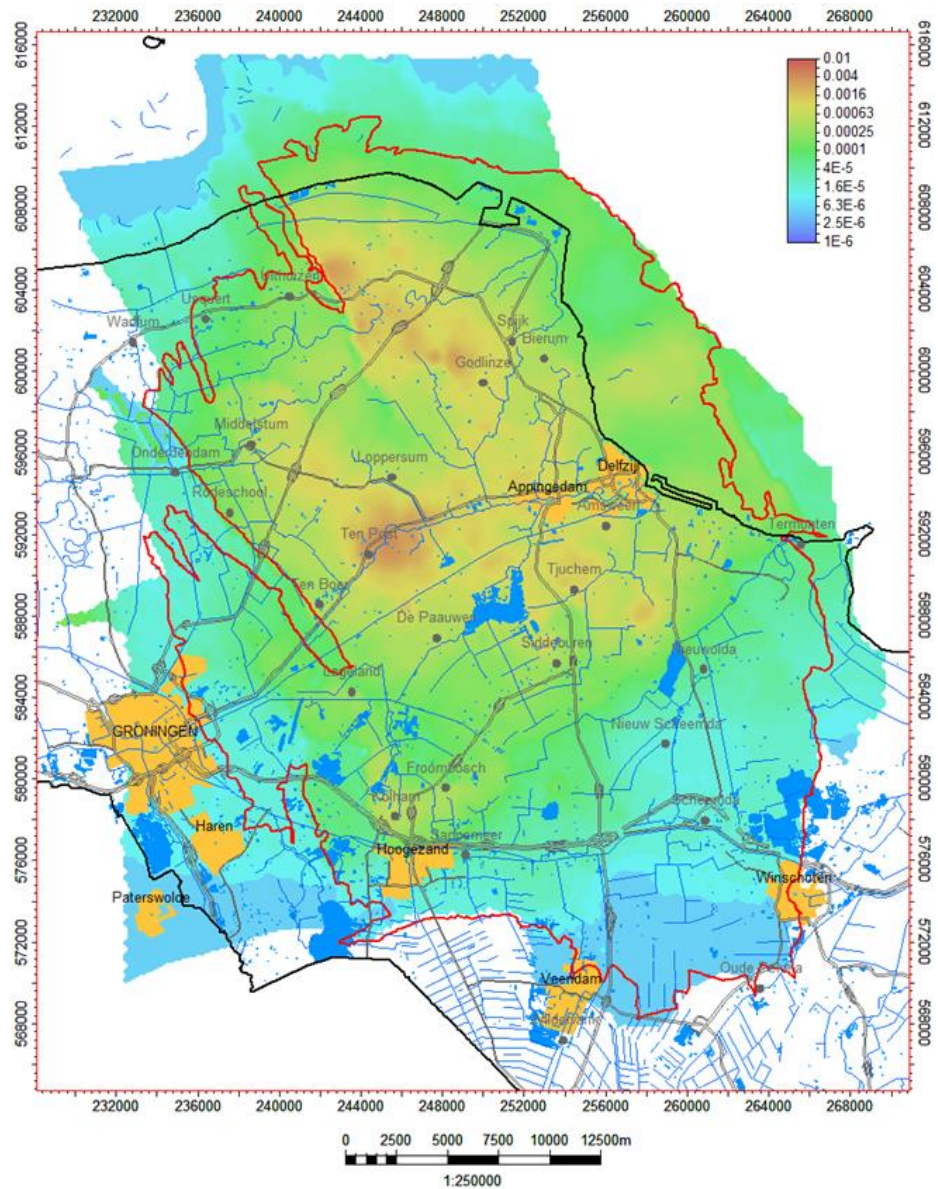
Figuur 4-1 toont de drukverdeling in het reservoir volgens het simulatiemodel per januari 2014. De gemiddelde druk in het gehele veld is nu circa 100 bar. In het zuidelijke deel van het veld is de druk gemiddeld lager en varieert deze tot circa 70 bar. Aan de randen van het veld is de druk hoger en loopt deze op tot circa 140 bar of meer. Figuur 4-2 toont de verdeling van de totale compactie in januari 2014. De compactie is het grootst in de noordelijke helft van het veld, met name binnen het Loppersum gebied. Figuur 4-3 toont de verdeling van de partiticoëfficiënt (op een logaritmische schaal) per januari 2014. De huidige modelwaarde van de partiticoëfficiënt varieert met een factor 50 van een minimum waarde van $1 \cdot 10^{-5}$ in het zuiden van het veld tot een maximale waarde van $0,5 \cdot 10^{-3}$ in het Loppersum gebied.



Figuur 4-1. Druk in bar volgens het reservoir model in januari 2014. De zwarte lijn op $x=246000$ m geeft de positie van doorsnede in Figuur 5-3 aan. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.



Figuur 4-2 Totale compactie (m) in januari 2014. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.



Figuur 4-3. Partiticoëfficiënt in januari 2014. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.

5 Drukgradiënten en compactiegradiënten

Met het kabinetsbesluit is een nieuwe strategie ingezet voor de productie van het Groningenveld. Tot nu toe was de productiestrategie voor het Groningen veld gebaseerd op drukegalisatie over het hele veld met als doel: minimale benodigde energie voor compressie nodig voor de productie van het gas. Door de lokaal grote verschillen in porositeit werkt de druk echter verschillend door op het tempo van de compactie. Het kabinetsbesluit leidt tot scenario's die als productiestrategie het tempo van compactie reduceren. Dit geldt met name voor het Loppersum gebied waar de compactie op dit moment het grootste is. Deze scenario's (het kabinetsbesluit en marktvaag scenario) volgen onderling fundamenteel verschillende strategieën, die terug te voeren zijn op verschillende opvattingen over het mechanisme waarmee compactie zich vertaalt naar seismiciteit.

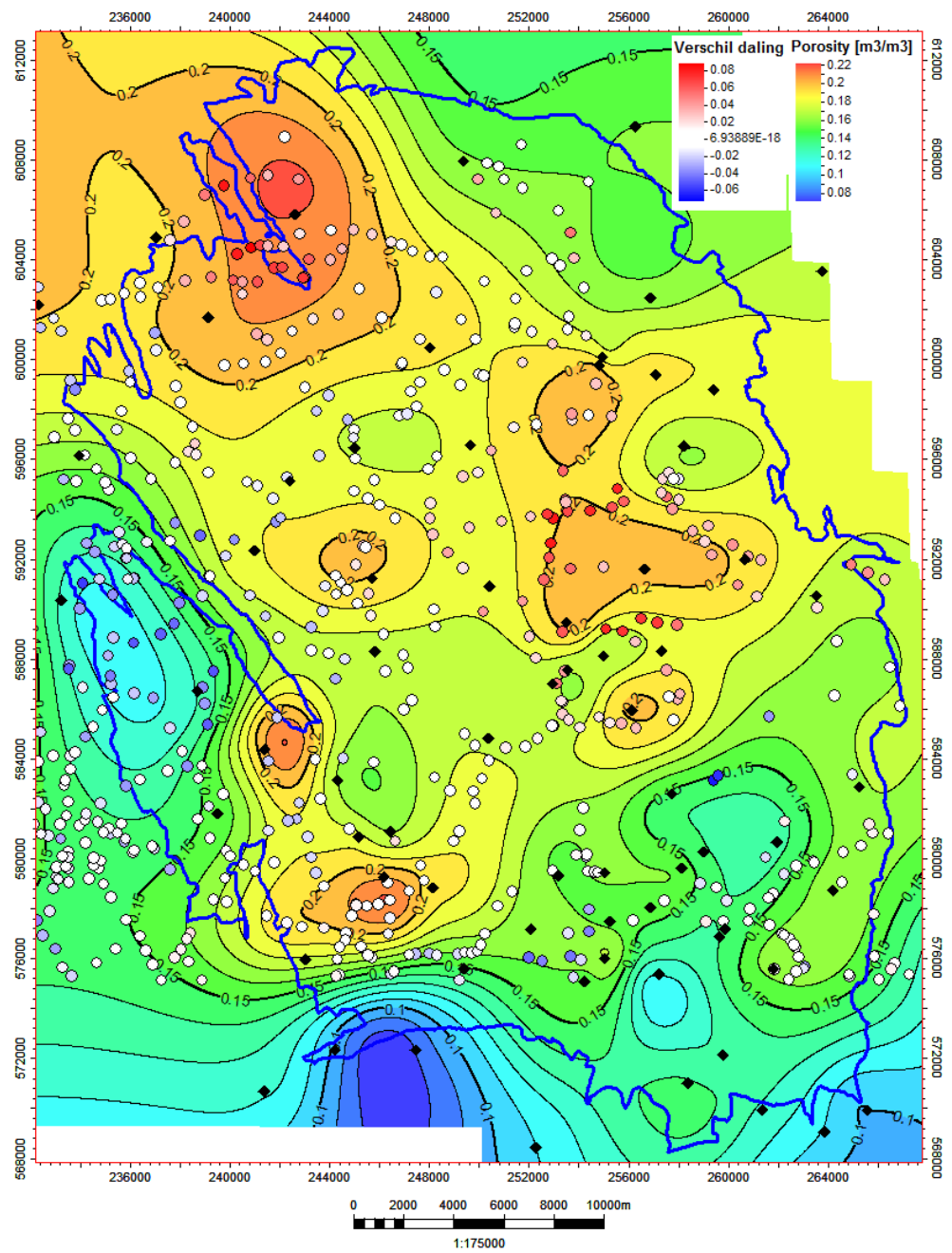
Door gaswinning vindt drukdaling plaats in het reservoir. Door deze drukdaling wordt het reservoir samengedrukt (compactie). NAM (2013) heeft laten zien dat compactie een directe relatie heeft met de waargenomen seismiciteit van het Groningenveld. Eerdere studies geven aan dat vooral differentiële compactie (de gradiënten in de compactie) over breuken een belangrijke rol speelt bij het optreden van seismiciteit (Roest en Kuilman, 1994; Mulder 2003). Gradiënten in compactie bestaan echter alleen bij de gratie van compactie en heterogeniteiten in het reservoir. Als eerste benadering is een directe relatie tussen compactie en seismiciteit dan ook niet onlogisch. Compactiegradiënten ontstaan door verschillen in druk, dikte van het reservoir en verschillen in porositeit. Bij gelijke drukdaling (zoals het geval in Groningen, zie Figuur 4-1) komen compactiegradiënten (Figuur 4-2) vooral door verschillen in porositeit (Figuur 5-1) en dikte van het reservoir voor. Dit wordt nog verder versterkt door de gebruikte relatie tussen porositeit en compactie waarbij de compactie niet-lineair toeneemt met de porositeit (TNO, 2013).

Figuur 5-2 geeft aan hoe druk is verdeeld over het Groningenveld in januari 2017 indien het kabinetsbesluit scenario (42,5_3) wordt doorgerekend met het dynamische reservoirmodel. In het Loppersum gebied zal de druk maximaal 9 bar afnemen (Figuur 5-4). In het zuidelijke gebied is de afname maximaal 30 bar (Figuur 5-4) over de periode januari 2014 tot januari 2017. Hiermee neemt de drukgradiënt van noord naar zuid over het veld toe (Figuur 5-3). Volgens het scenario wat de marktvaag volgt, zal de gemiddelde drukdaling in het veld over de periode 2014 tot en met 2016 ongeveer 20 bar bedragen. De drukgradiënt zal vergelijkbaar zijn met die in 2014 (Figuur 5-3). De grootse drukgradiënten voor alle productiescenario's liggen in het zuidelijke gebied van het Groningenveld nabij het Harkstede blok. Dit blok wordt later specifiek uitgelicht (paragraaf 5.1).

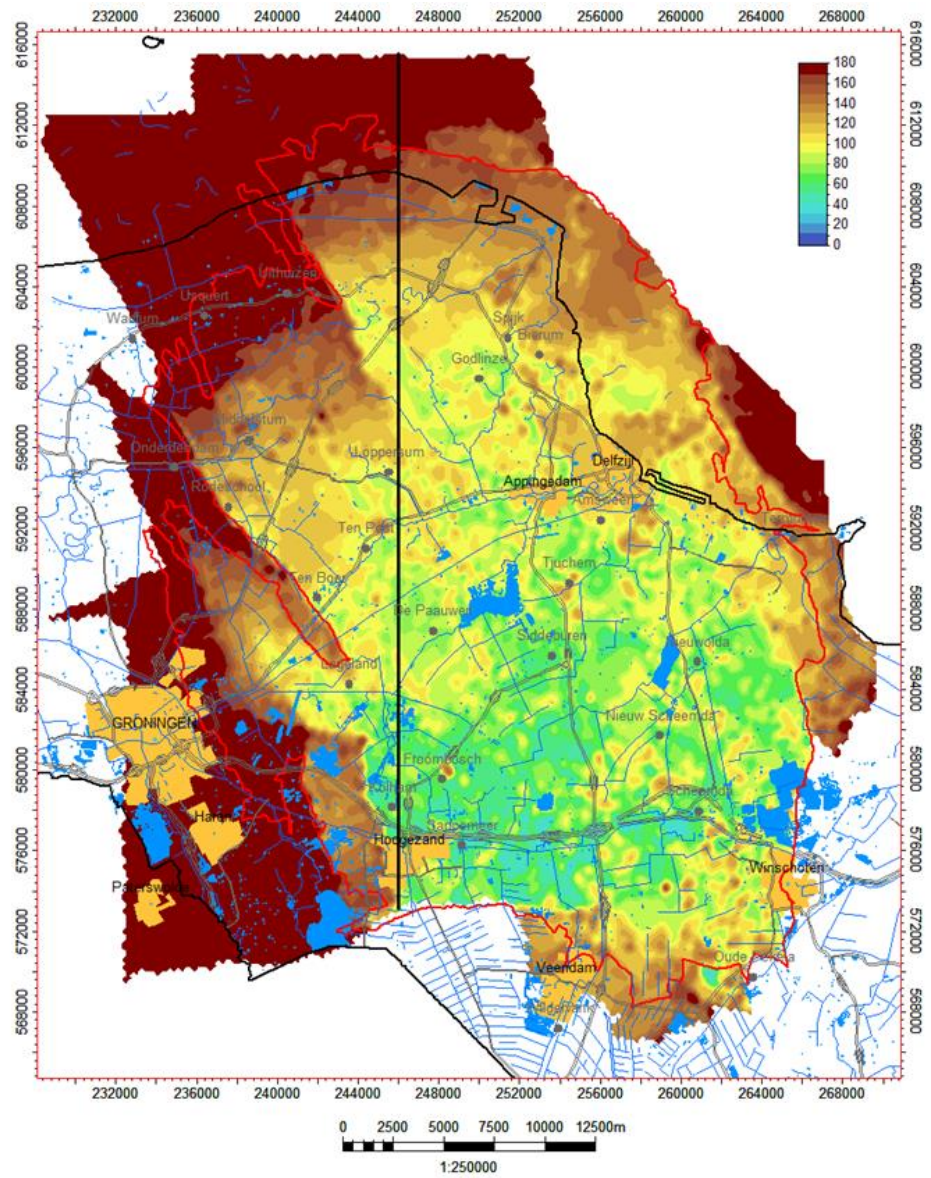
Samengevat zullen de drukgradiënten binnen het kabinetsbesluit scenario (42,5_3) tot 2017 toenemen in vergelijking met het marktvaagscenario. Dit is tegengesteld aan de verandering van compactiegradiënten in dezelfde periode over het veld. De compactiegradiënten nemen voor het kabinetsbesluit scenario (42,5_3) af in de periode 2014 tot en met 2016 ten opzichte van het marktvaag scenario (Figuur 5-5). Dit wordt veroorzaakt door de fundamenteel verschillende strategieën van deze scenario's. Het marktvaagscenario optimaliseert de drukdaling over het veld.

De drukgradiënten zijn hierbij klein maar de compactiegradiënten worden groter vanwege de invloed van de porositeit op de compactie. Het kabinetsbesluit scenario (42,5_3) reduceert met name de toename van compactie in het Loppersum gebied door hier lokaal de drukdaling te vertragen. Hierdoor wordt het versterkende effect van hoge porositeit op de compactie deels gecompenseerd. De drukgradiënten over het veld nemen hierbij toe in de tijd, de compactiegradiënten nemen echter juist af.

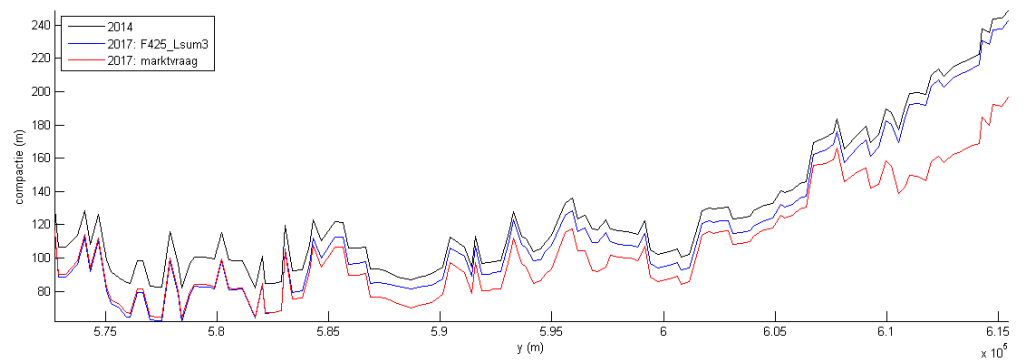
Aangezien seismiciteit direct gerelateerd is aan de compactie(gradiënten) en niet aan de druk, is een afname van de compactiegradiënt mogelijk gunstiger voor de beperking van de seismiciteit. Optimalisatie van reservoir productiescenario's voor het beperken van seismiciteit zouden zich dan ook niet moeten richten op beperking van drukgradiënten, maar op beperking van compactiegradiënten. Dit vergt een omslag in de toekomstige productiestrategie van gasvelden voor beperking van de seismiciteit .



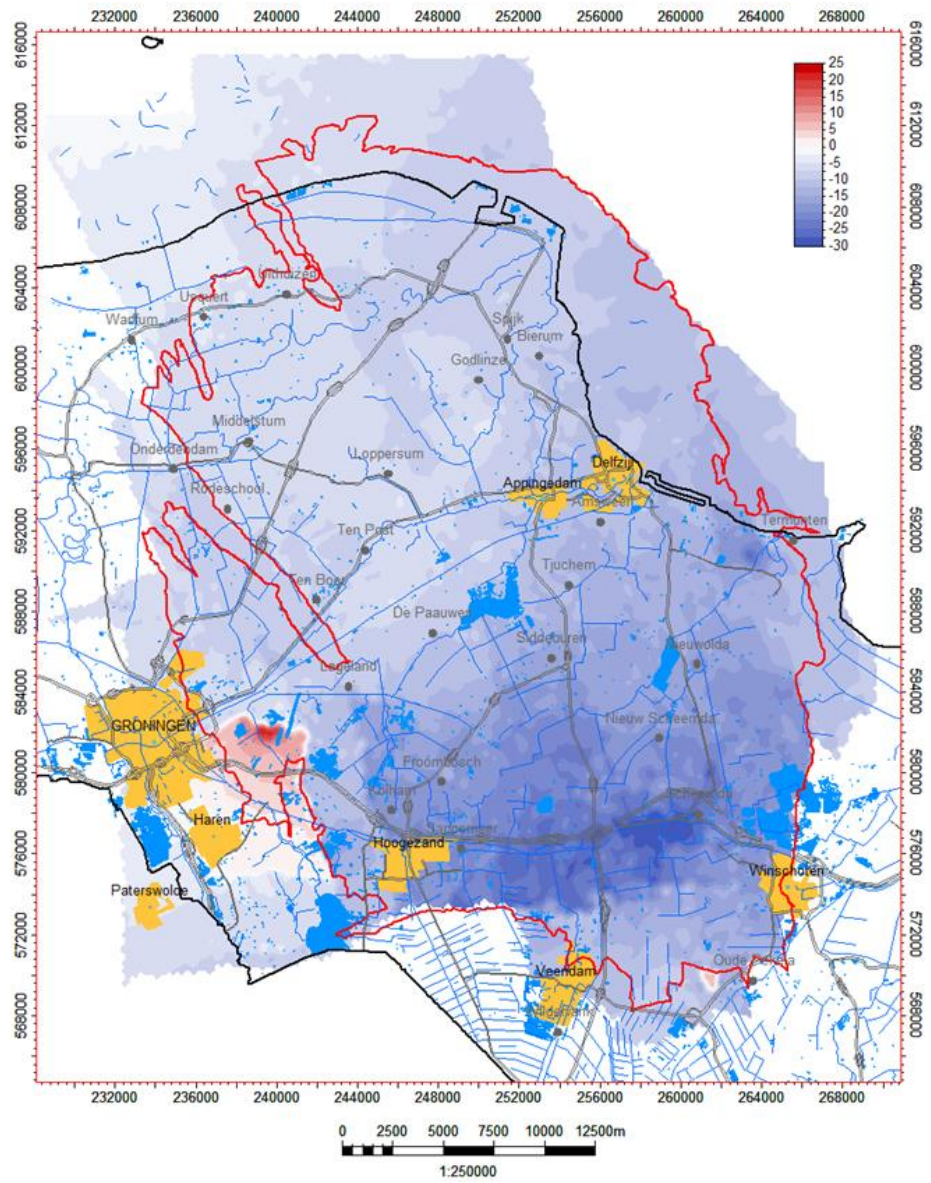
Figuur 5-1. Porositeit trendkaart voor de USS.2.res zone berekend door NAM. Zwarte ruiten geven de putten weer. De rood-wit-blauwe cirkels geven het verschil tussen berekende en geobserveerde bodemdaling aan (rood = meer bodemdaling berekend dan geobserveerd).



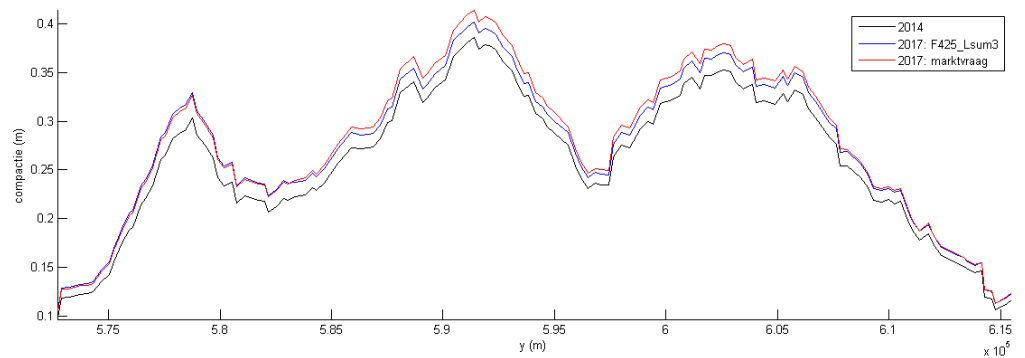
Figuur 5-2. Druk in januari 2017 voor het 42,5_3 scenario. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.



Figuur 5-3. Doorsnede op x=246000m (voor positie zie Figuur 5-2) door de druk in januari 2014 en in januari 2017 voor het 42,5_3 scenario en het marktvaag scenario.



Figuur 5-4. Drukverschil tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario 42,5_3. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.



Figuur 5-5. Doorsnede op x=246000m door de compactie in januari 2014 en in januari 2017 voor het 42,5_3 scenario en het marktvraag scenario.

5.1 Harkstede blok en Eemskanaal cluster

Het Harkstede blok in het zuidwestelijke deel van het Groningen gasveld (Figuur 3-1) verdient speciale aandacht. Dit blok wordt gescheiden van het hoofdveld door een NNW-ZZO breuk waardoor de druk in dat blok circa 70-80 bar hoger is dan de gemiddelde druk in de rest van het veld (situatie januari 2014, Figuur 4-1). Onder het kabinetsbesluit scenario (42,5_3) zal dat verschil in de komende 3 jaar met 5 - 10 bar toenemen. Onder het marktvraagscenario zou dit verschil juist afnemen met 5 - 10 bar. De compactiegradiënten over de NNW-ZZO breuk nemen toe voor het kabinetsbesluit scenario en licht af voor het marktvraag scenario. Dit wordt veroorzaakt door het effect van de toe/afname van drukgradiënten over de breuk en de gelijke porositeiten aan weerszijden van de breuk volgens het porositeitsmodel (Figuur 5-1).

Het productiecluster Eemskanaal (EKL) is gelegen in het noorden van het Harkstede blok (zie Figuur 3-3). Zoals Figuur 5-4 toont, veroorzaakt dit cluster een ruimtelijk beperkte drukdaling in dat blok, hetgeen samenhangt met de slechtere transmissiviteit (vermoedelijk door breukjes en mogelijk lagere permeabiliteit) in zuidoostelijke richting in dat blok. De in Figuur 5-4 getoonde lokale druktoename in het zuiden van het veld hangt samen met het insluiten van put EKL-13 door water productie waardoor de druk rond die put egaliseert.

Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat met de voorliggende productiescenario's het drukverschil tussen het Harkstede blok en de rest van het veld niet of nauwelijks te beïnvloeden is. Een versnelde productie uit het Harkstede blok zou hiervoor de enige optie zijn maar dit zou wel vragen om de plaatsing van extra productieputten in het Harkstede blok.

5.2 Resultaten scenario's in termen van compactie, partiticoëfficiënt en relatieve toename seismische dreiging

De appendices laten de resultaten van de scenario's uit Tabel 3-1 zien. Tabel 5-1 geeft een overzicht welke resultaten gepresenteerd worden in de appendices. De toename van de partiticoëfficiënt (Appendix E) is genormaliseerd ten opzichte van de waarde van de partiticoëfficiënt in januari 2014. De genormaliseerde toename van de partiticoëfficiënt laat zien, binnen deze periode, waar de partiticoëfficiënt verdubbeld (waarde 1.0). Dit betekent dat op de locaties waar de genormaliseerde toename één is, een dubbele hoeveelheid seismische energie kan vrijkomen in vergelijking met de hoeveelheid seismische energie in januari 2014.

Tabel 5-1. Overzicht van resultaten van de productiescenario's in de appendices

Appendix	Welke resultaten
A	Compactie eind december 2016
B	Toename van compactie 2014 tot en met 2016
C	Partiticoëfficiënt eind december 2016
D	Toename van partiticoëfficiënt 2014 tot en met 2016
E	Genormaliseerde toename van partiticoëfficiënt van 2014 tot en met 2016

Appendices F, G en H vergelijken scenario's in termen van toename van compactie voor de periode januari 2014 tot januari 2017 (Tabel 5-2). Appendix I vergelijkt de relatieve toename en afname van de seismische dreiging (paragraaf 3.4) in de periode 2014 tot en met 2016 in vergelijking tussen twee scenario's. De volgende hoofdstukken (6 en 7) lichten enkele van de resultaten, belangrijk voor beantwoording van de gestelde vragen in de inleiding, toe.

Tabel 5-2. Overzicht van vergelijkingen tussen productiescenario's in de appendices

Appendix	Welke scenario's worden vergeleken
F	Marktvraag versus kabinetsbesluit, 40, 35, 30 miljard Nm ³ (*)
G	Kabinetsbesluit versus marktvraag, 40, 35, 30 miljard Nm ³ (*)
H	Volledig versus beperkt stilleggen vijf Loppersum clusters
I	Relatieve toe/afname seismische dreiging tussen twee scenario's

* zowel volledig als beperkt stilleggen van de Loppersum clusters varianten van genoemde scenario's worden vergeleken

6 Het scenario van het kabinetsbesluit (42,5_3)

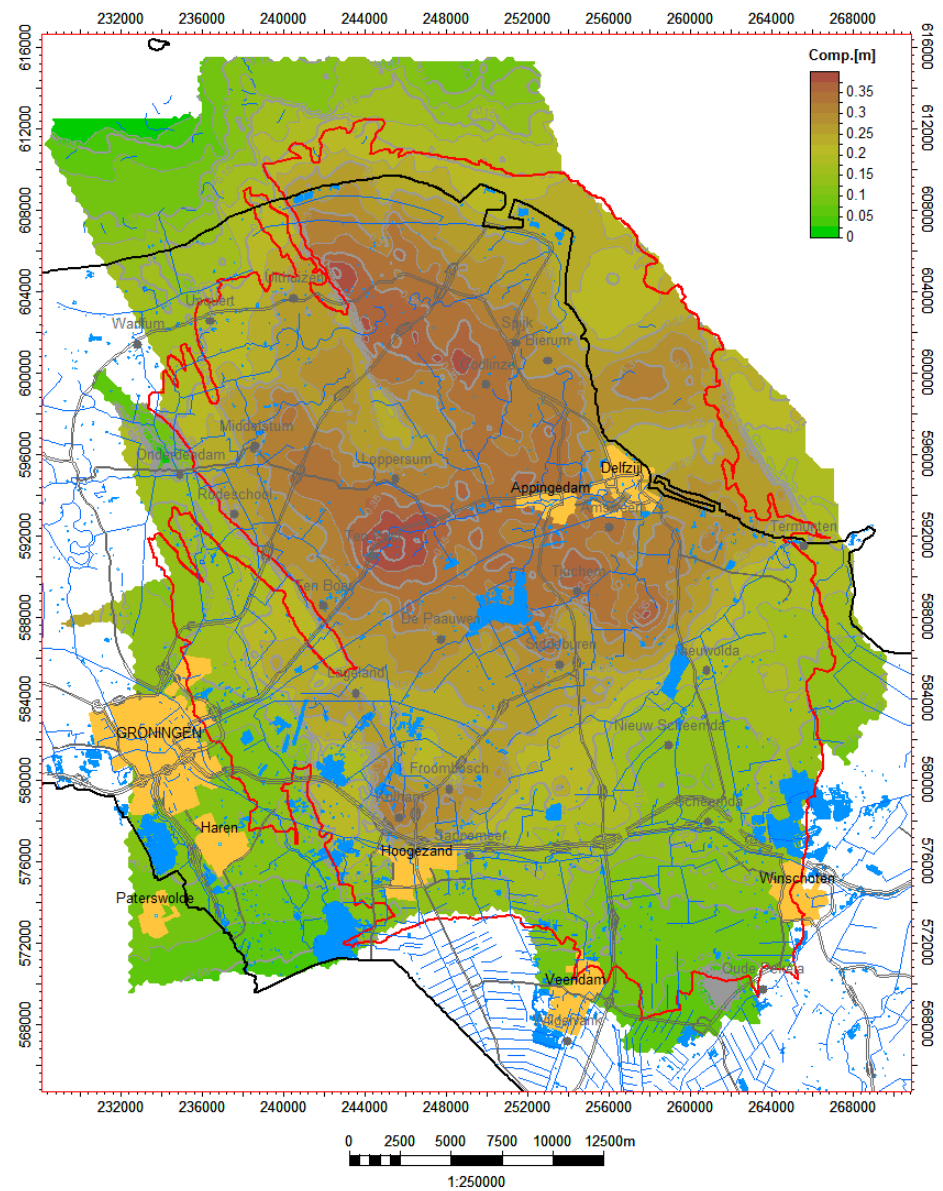
In dit hoofdstuk wordt het scenario van het kabinetsbesluit (42,5_3 in Tabel 3-1) geanalyseerd. Figuur 6-1 laat de compactie voor het 42,5_3 scenario in januari 2017 zien. De compactie is het grootst in het Loppersum gebied. In vergelijking met de huidige (2014) compactie (Figuur 4-2), is de compactie slechts beperkt toegenomen in het Loppersum gebied (Figuur 6-2): maximaal 1,8 cm voor de periode 2014 tot en met 2016. De maximale toename is 3 cm in het gebied ten noorden van Hoogezand.

6.1 Gevolg van verandering in productiefilosofie in termen van energie die seismisch kan vrijkomen

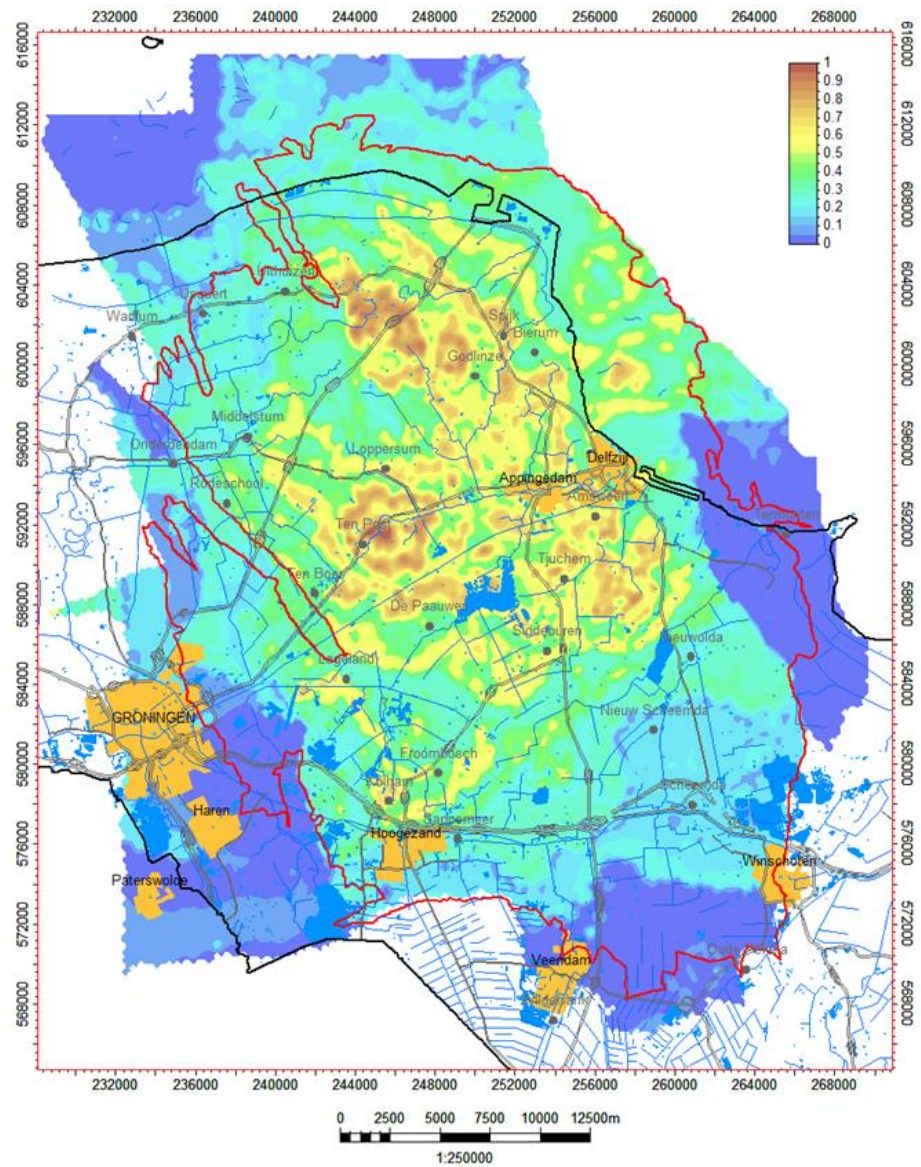
Uit de verdeling van de (toename van) compactie in januari 2017 kan, gebruik makende van de relatie tussen de partiticoëfficiënt en de compactie, ook de (toename van de) partiticoëfficiënt in kaart gebracht worden. De partiticoëfficiënt bepaalt welk deel van de beschikbare energie (opgebouwd door compactie) vrij kan komen in de vorm van seismische energie (bevingen). Figuur 6-3 laat de toename in partiticoëfficiënt genormaliseerd door de partiticoëfficiënt in januari 2014 zien voor het marktvaag scenario. Figuur 6-4 laat hetzelfde zien voor het 42,5_3 scenario.

Uit Figuur 6-3 blijkt dat, in het geval de marktvaag wordt gevolgd, voor het Loppersum gebied in 2017 drie keer zoveel seismische energie kan vrijkomen als in 2014. Voor het scenario wat volgens de randvoorwaarden van het kabinetsbesluit is opgezet (Figuur 6-4) is deze toename slechts 1,2 tot 1,6 keer wat veroorzaakt wordt door de beperkte productie in het Loppersum gebied. Dit betekent dat bij het kabinetsbesluit scenario (42,5_3) voor de periode 2014 tot 2017 in het Loppersum gebied veel minder energie beschikbaar komt die seismisch kan vrijkomen in de vorm van bevingen dan bij het marktvaagscenario (NAM 2013).

Figuur 6-4 laat zien dat er in andere gebieden wel sprake is van een toename van de partiticoëfficiënt. Dit zijn bijvoorbeeld de gebieden rond Delfzijl, Eemskanaal en ten noorden van Hoogezand. Hierbij moeten een aantal opmerkingen worden geplaatst. In het gebied rond Delfzijl laat TNO (2013) zien dat de porositeit hier overschat wordt. Hierdoor wordt de compactie overschat en daardoor ook de partiticoëfficiënt. De grotere toename in dit gebied wordt dan ook niet realistisch geacht. Verder is het belangrijk om te beseffen, dat de partiticoëfficiënt rond de zuidelijke clusters slechts enkele procenten bedraagt van die in het Loppersum gebied. Dit is een direct gevolg van de verhouding in compactie (circa een factor 2), versterkt door de exponentiële functie van de partiticoëfficiënt (Figuur 3-4). Een verdubbeling van de partiticoëfficiënt in het zuidelijke gebied geeft daarom een toename van het seismisch moment die slechts een fractie bedraagt van de verdubbeling in het Loppersum gebied. In paragraaf 6.4 wordt ingegaan op het gebied ten noorden van Hoogezand.

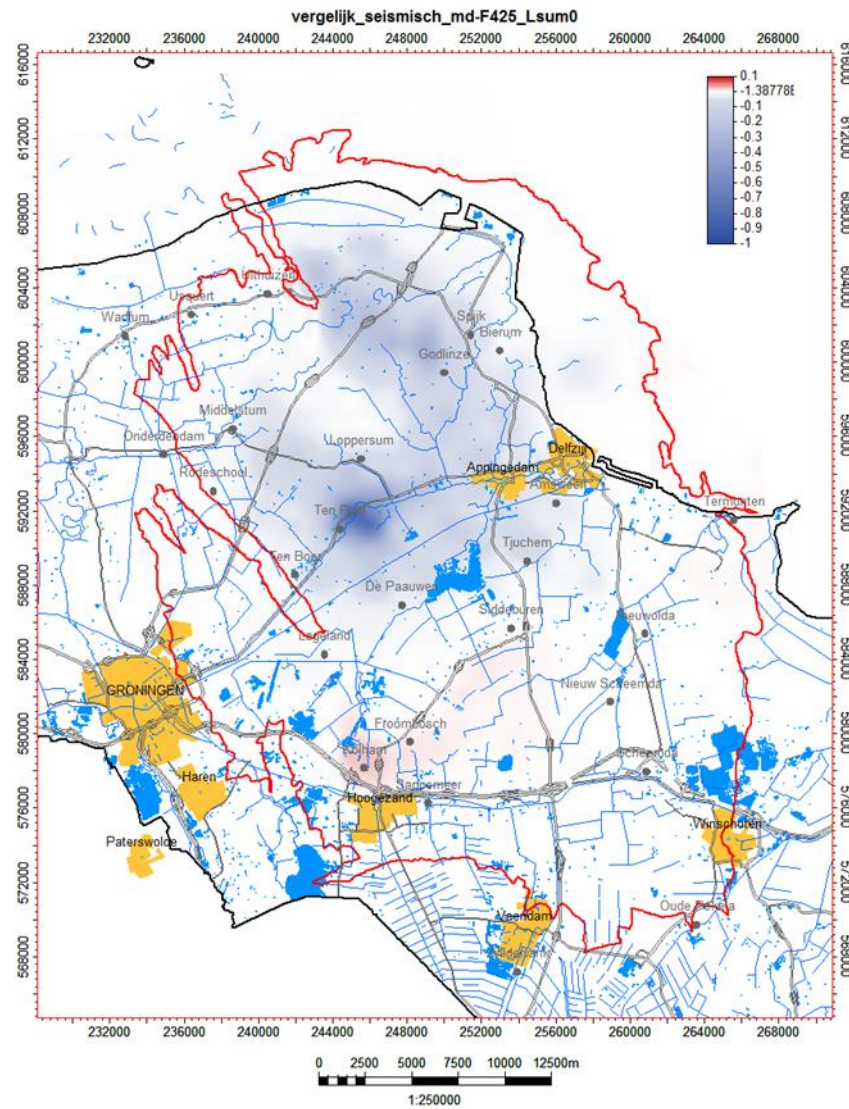


Figuur 6-1. Totale compactie (m) in 2017 voor het scenario waarbij de productie van de vijf Loppersum clusters maximaal 3 miljard Nm^3 is voor de jaren 2014, 2015 en 2016 (42,5_3 in Tabel 3.1). De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.



Figuur 6-3. Genormaliseerde toename van de partiticoëfficiënt tussen 2014 en 2017 voor het scenario waarbij de marktvraag als uitgangspunt geldt. Een waarde van 'nul' betekent geen verschil, een waarde van '1' betekent dat de partiticoëfficiënt zal verdubbelen in deze periode. Het maximum van de genormaliseerde toename bedraagt 2, wat een verdrievoudiging betekent. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.

wat de markt vraagt. Deze toename is echter maar 2,5% van de afname nabij het Ten Post cluster. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het kabinetsbesluit scenario zorgt voor een relatieve afname van de seismische dreiging ten opzichte van het markt vraag scenario.



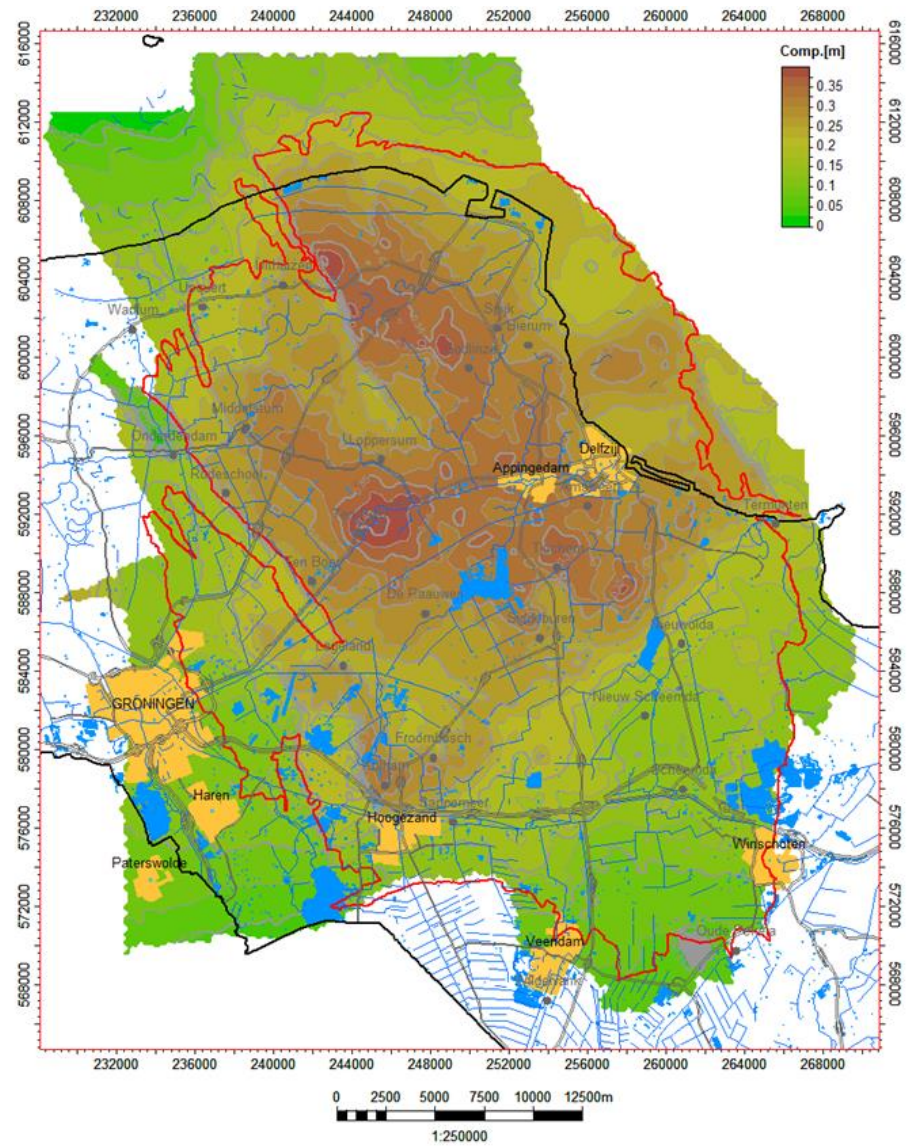
Figuur 6-5. Verschil in relatieve seismische dreiging tussen het kabinetsbesluit scenario en het scenario wat de markt vraagt volgt.

6.3 Effect op volledige versus minimale productiestop in Loppersum

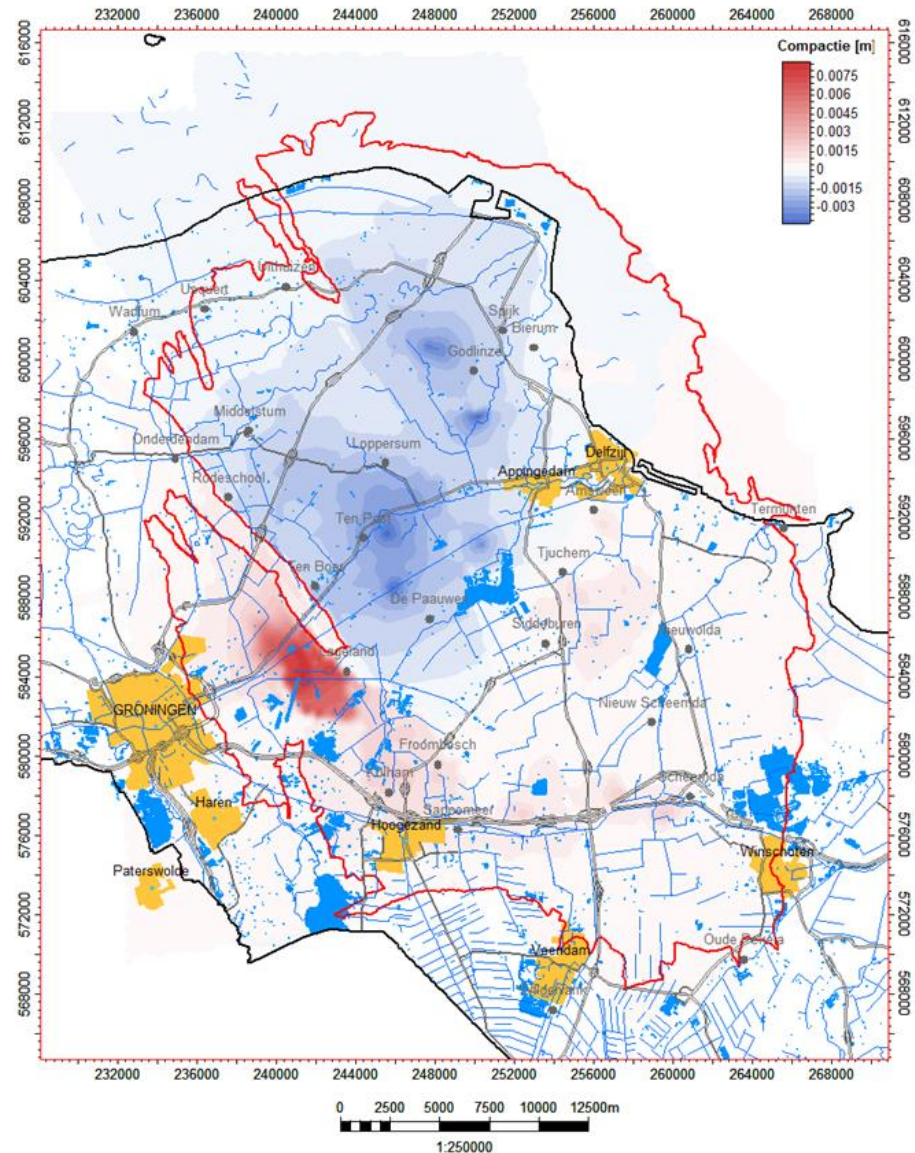
In deze paragraaf wordt het effect van het volledig stoppen van de productie in de vijf Loppersum clusters (100%) vergeleken met het beperkt produceren van dezelfde clusters (80%). Hierbij wordt voor de productie het scenario gebruikt waarbij in 2014 en 2015 maximaal 42,5 miljard Nm³ per jaar wordt geproduceerd en in 2016 maximaal 40 miljard Nm³ (42,5_3 versus 42,5_0 in Tabel 3-1). De jaarproductie voor de vijf Loppersum clusters (LRM, OVS, POS, PAU en ZND) en de rest van het veld voor dit scenario staan weergegeven in Tabel 3-2.

Figuur 6-6 toont de compactie in januari 2017 voor het scenario waarbij de putten in Loppersum volledig worden stilgelegd (42,5_0). Deze kan vergeleken worden met Figuur 6-1, waar de compactie in januari 2017 te zien is, voor het scenario waarbij de Loppersum clusters beperkt worden stilgelegd. Figuur 6-7 toont het verschil in compactie in januari 2017 tussen beide scenario's. Het volledig stilleggen van de clusters leidt tot lokaal, rondom de clusters, 4 mm minder compactie dan het beperkt stilleggen. Gemiddeld geeft dit scenario (42,5_0) 0-2 mm vermindering van de toename van de compactie voor de periode 2014 tot en met 2016. Hieruit blijkt dat het volledig stilleggen van de Loppersum clusters in vergelijking met het beperkt stilleggen zeer weinig extra effect heeft op de toename van compactie. Daarnaast is een extra toename van maximaal 4 mm compactie over deze drie jaar, binnen de meetonnauwkeurigheden, niet meetbaar als bodemdaling aan het oppervlak.

Aangezien aan beide scenario's een zelfde totale productie voor de jaren 2014 tot en met 2016 is opgelegd, wordt bij volledig stilleggen van productie voor de Loppersum clusters (42,5_0) de productie in de rest van het veld met 3 miljard Nm³ per jaar verhoogd. In dit reservoir model wordt deze extra productie voor een groot deel uit de Eemskanaal clusters gehaald waardoor hier extra compactie plaatsvindt (Figuur 6-7). Dit is een keuze, er zou ook gekozen kunnen worden om de benodigde 3 miljard Nm³ per jaar ergens anders uit het veld te halen.



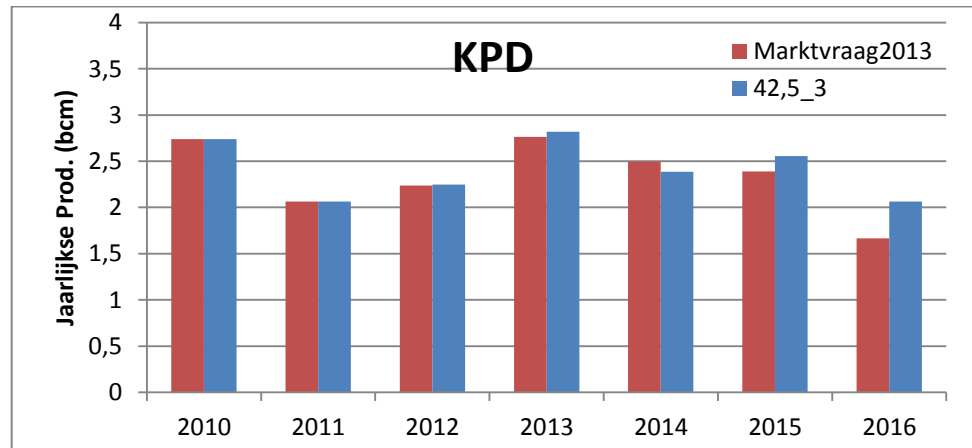
Figuur 6-6. Totale compactie in 2017 voor het scenario waarbij de productie van de vijf Loppersum clusters volledig wordt stilgelegd (42,5_0 in Tabel 3.1). De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.



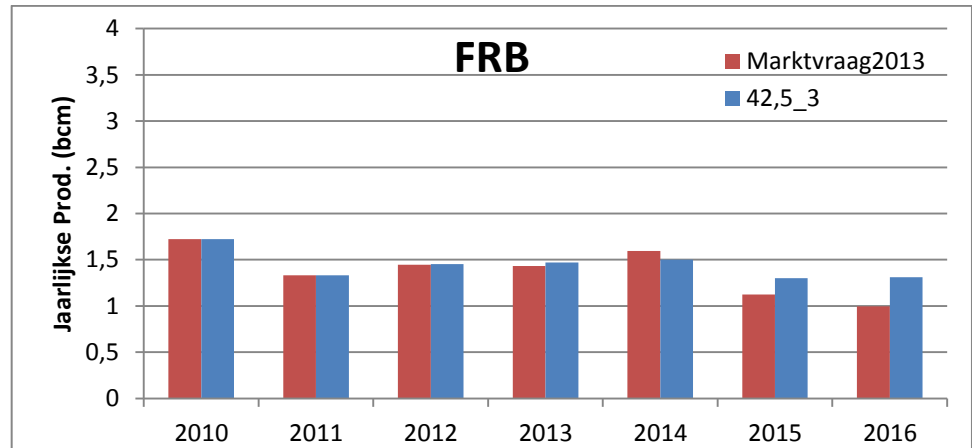
Figuur 6-7. Verschil in compactie (m) tussen volledig stilleggen van de vijf Loppersum clusters en deze met maximaal 3 miljard Nm^3 /jaar produceren. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.

6.4 Gevolgen van verandering in productie nabij Hoogezaand

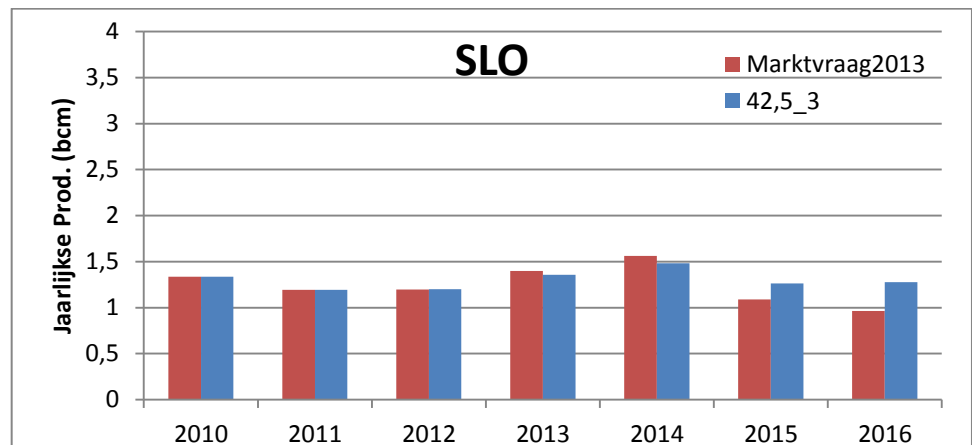
Het gebiedje in het uiterste zuidwesten rond de Froombosch clusters (KPD, FRB, SLO) ten noorden van Hoogezaand verdient bijzondere aandacht. Binnen het scenario 42,5_3 gaan deze clusters meer produceren in 2015 en 2016 in vergelijking met het marktvaag scenario. Aangezien het porositeitsmodel daar lokaal een gebied met hoge porositeiten in het reservoir weergeeft, zal de compactie door de niet-lineaire relatie tussen porositeit en compactie verhoudingsgewijs sterk toenemen. In tegenstelling tot andere gebieden waar het reservoirmodel een overschatting van de porositeit lijkt te geven (TNO 2013), is in dit gebied een goede fit van de gemodelleerde met de gemeten bodemdaling bereikt (Figuur 5-1) en lijkt er geen sprake van een duidelijk overschatting van de porositeiten in het model.



Figuur 6-8. Productie in de periode 2010-2016 van het cluster KPD voor de simulaties zoals gedaan met het marktvraag scenario uit 2013 en met het nieuwe scenario 42,5_3.



Figuur 6-9. Productie in de periode 2010-2016 van het cluster FRB voor de simulaties zoals gedaan met het marktvraag scenario uit 2013 en met het nieuwe scenario 42,5_3.



Figuur 6-10. Productie in de periode 2010-2016 van het cluster SLO voor de simulaties zoals gedaan met het marktvraag scenario uit 2013 en met het nieuwe scenario 42,5_3.

De veranderingen in de verwachte productie als gevolg van het scenario wat voldoet aan de randvoorwaarden van het kabinetsbesluit (42,5_3) voor de clusters

KPD, FRB en SLO wordt gepresenteerd in Figuur 6-8 tot Figuur 6-10. Figuur 3-3 toont de locatie van de clusters. Voor alle drie de clusters geldt dat de productie in 2014 licht afneemt ten opzicht van het in 2013 gedefinieerde marktvaag scenario (NAM 2013). Dit is waarschijnlijk het gevolg van de afname van de totale maximale veldproductie van 49,3 miljard Nm³ (marktvaag scenario) naar 42,5 miljard Nm³ (42,5_3) in 2014. In de jaren 2015 en 2016 neemt de verwachte productie uit deze clusters toe ter compensatie van de afname van de productie uit de Loppersum clusters. De grootste verschillen treden op in 2016. De relatieve toename in de jaarlijkse gasproductie in 2014 bedraagt respectievelijk 24%, 32% en 33% voor de KPD, FRB en SLO clusters.

Uit Figuur 4-2 blijkt de totale compactie in januari 2014 in dit gebied ~30 cm bedraagt. Bij 30 cm compactie wordt maximaal 0,1% van de beschikbare energie door het optreden van compactie omgezet in seismische energie (Figuur 3-4). In het Loppersum gebied bedraagt de compactie (januari 2014) maximaal 38 cm waarbij 0,5% van de beschikbare energie kan worden omgezet in seismische energie. Een extra toename van compactie in dit gebied door verhoging van productie leidt tot een verhoging van de seismische energie die vrij kan komen. Deze verhoging zal echter nog altijd veel minder zijn (~factor 5) dan de verhoging van de seismische energie bij een vergelijkbare toename van compactie in het Loppersum gebied.

7 Effect van terugschroeven productie naar 40, 35 en 30 miljard Nm³ per jaar

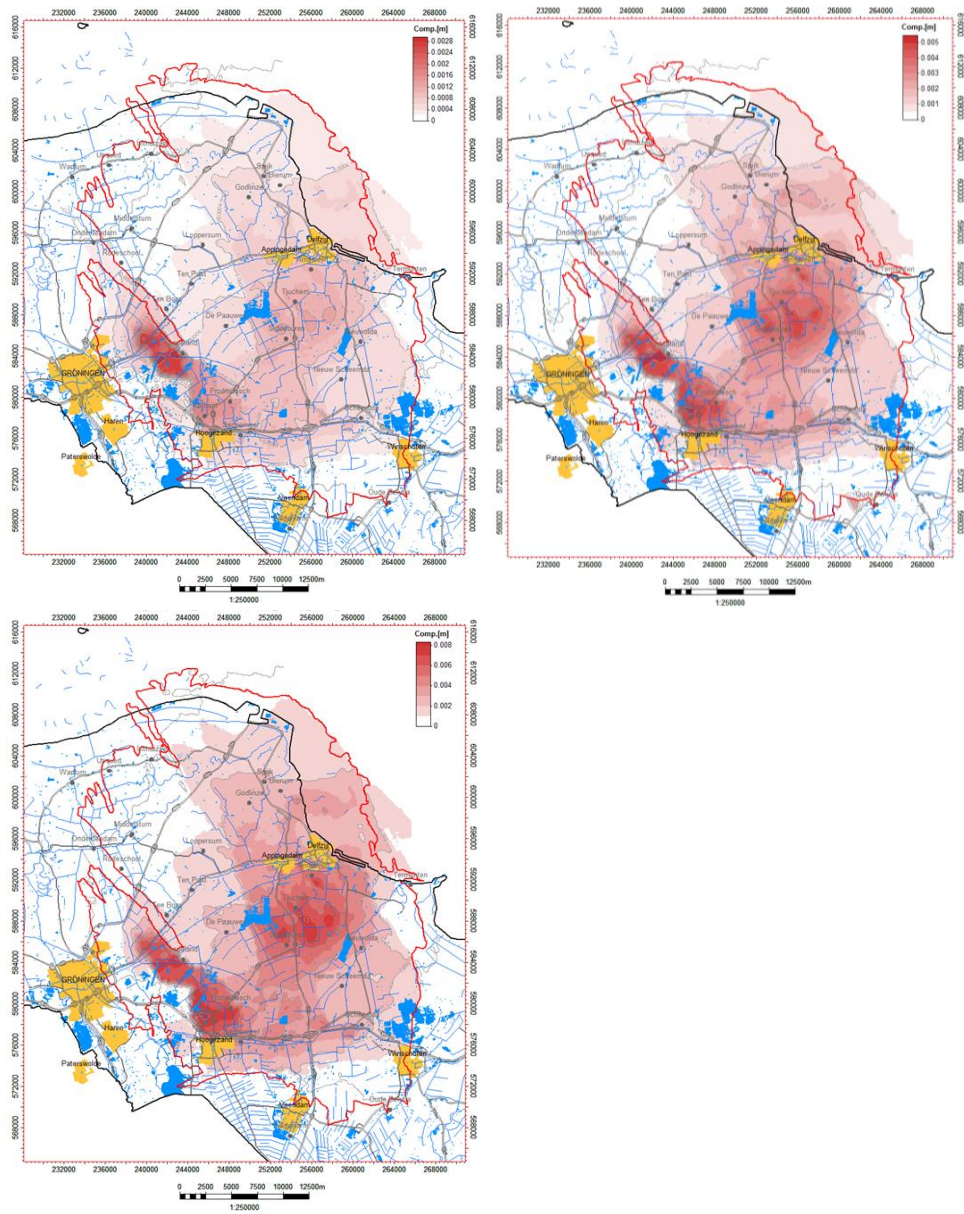
In dit hoofdstuk wordt het effect van het terugschroeven van de productie naar 40, 35 en 30 miljard Nm³ per jaar getoond en vergeleken met het kabinetsbesluit scenario (42,5_3). Voor de vergelijking is aangenomen dat maximaal 3 miljard Nm³ per jaar wordt geproduceerd uit de vijf Loppersum clusters (scenario's: 30_3, 35_3, 40_3). Figuur 7-1 toont het verschil in compactie voor de periode 2014 tot en met 2016 weer tussen een jaarlijkse productie van 40, 35 en 30 miljard Nm³ per jaar en het kabinetsbesluit scenario. De grootste verschillen in compactie (maximaal 8 mm) treden op tussen het 30_3 scenario en het 42,5_3 scenario vanwege de grote productieverschillen (Tabel 7-1). De laterale verschillen zijn groot. De verschillen zijn het grootst rond Delfzijl en het Eemskanaal. In het Loppersumgebied geven deze scenario's minimale verschillen. Zoals al eerder besproken wordt de porositeit en daarmee ook de compactie overschat in het Delfzijl gebied. De grote verschillen in dit gebied tussen de scenario's worden dan ook niet realistisch geacht.

Tabel 7-1. Vergelijking tussen met kabinetsbesluit scenario (42,5_3) en de productieverlaging scenario's (30_3, 35_3, 40_3).

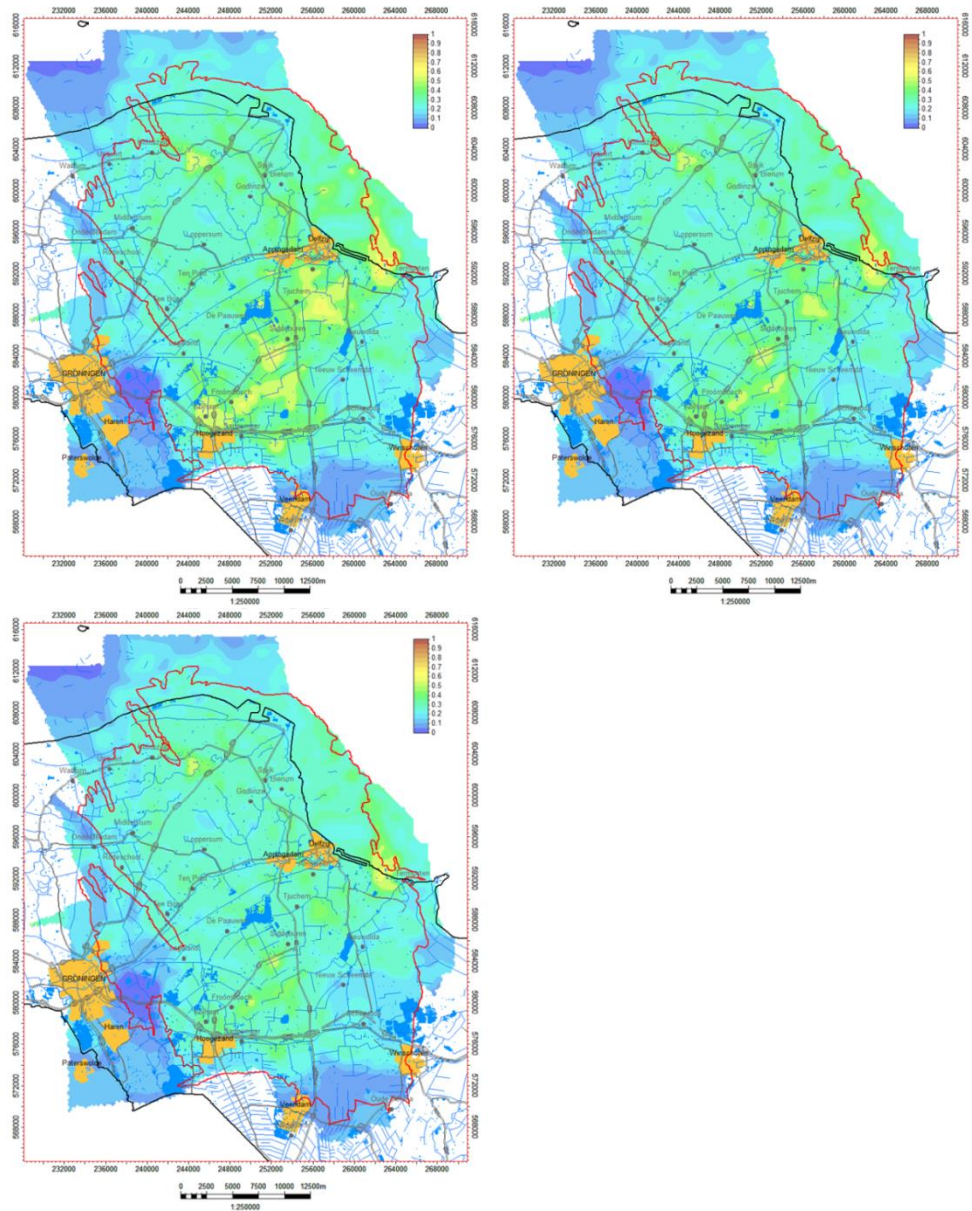
Vergelijk:	Toename compactie (maximaal)	Productie (2014 tot en met 2016)
42,5_3	3 cm	124,9 miljard Nm ³
Met:	Hoeveelheid minder compactie (maximaal)	Productie (2014 tot en met 2016)
40_3	3 mm	117,6 miljard Nm ³
35_3	6 mm	102,7 miljard Nm ³
30_3	8 mm	88,0 miljard Nm ³

Figuur 7-2 laat de genormaliseerde toename van de partiticoëfficiënt zien voor de drie productiescenario's (40_3, 35_3 en 30_3). Over het gehele veld bedraagt de gemiddelde toename respectievelijk een factor 1,27; 1,25 en 1,23 voor het 40 miljard Nm³, 35 miljard Nm³ en 30 miljard Nm³ productiescenario. In bepaalde gebieden (de lijn ten noorden van Hoogezand richting Delfzijl) is duidelijk een verlaging van de toename van de partiticoëfficiënt te zien als gevolg van de verlaging van de jaarlijkse productie. Een toename met een factor van 1,27 betekent dat de hoeveelheid energie die beschikbaar kan komen als seismische energie in 2017, 1,27 keer de hoeveelheid seismische energie in 2014 is. Het verschil tussen een jaarlijks productieniveau van 40 versus 30 miljard Nm³ is dus een extra toename van 0,04 keer de hoeveelheid seismische energie in 2014.

Het effect van de onderzochte stapsgewijze verlagingen van de veldproductie treedt op in gebieden, waar de compactie en (dus) ook de partiticoëfficiënt op dit moment nog relatief laag is ten opzichte van die in het Loppersum gebied. De toename in de seismische dreiging die daar het gevolg van is, is daardoor gering (zie Appendix I, Figuur I-6, Figuur I-7 en Figuur I-8).



Figuur 7-1. Verschil in compactie tussen scenario 42,5_3 en het 40_3 scenario (links boven), het 35_3 scenario (rechts boven) en het 30_3 scenario (links onder). De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.



Figuur 7-2. Genormaliseerde toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor de scenario's met een 40 miljard Nm^3 (links boven), 35 miljard Nm^3 (rechts boven) en 30 miljard Nm^3 (links onder) jaarlijkse productie en een beperkte productie voor de vijf Loppersum clusters (3 miljard Nm^3 per jaar). Een waarde van '0' betekent geen verschil, een waarde van '1' betekent dat de partiticoëfficiënt zal verdubbelen in deze periode. De rode lijn geeft de contour aan van het Groningenveld. De topografie, inclusief bebouwing (oranje) en meren (blauw) van de provincie Groningen boven het Groningenveld is ook aangegeven.

8 Beantwoording van de vragen

Per 17 januari 2014 heeft de minister besloten om gasproductie in de clusters rond Loppersum de komende drie jaar met 80% te verminderen tot een productie van maximaal 3 miljard Nm³ per jaar. De totale productie van het Groningen veld bedraagt hierbij maximaal 42,5 miljard Nm³ per jaar in 2014 en 2015 en 40 miljard Nm³ in 2016.

In deze paragraaf worden de in de inleiding genoemde vijf vragen in die volgorde beantwoord. Bij de beantwoording wordt verwezen naar de informatie in de brief over dit onderwerp van de minister aan de Kamer (EZ, 2014b) van 5 februari 2014.

Vraag I: Marktvraag in vergelijking met 42,5_3

De toename van compactie in het gehele Loppersum gebied wordt in het geval de randvoorwaarden van het kabinetsbesluit worden toegepast ten opzichte van het marktvraag scenario ('ongewijzigd beleid') sterk gereduceerd.

In de brief aan de Kamer (EZ, 2014b) is gemeld, dat onder het marktvraag scenario de compactie in het Loppersum gebied tot 3 cm zou toenemen, terwijl de toename onder het 42,5_3 scenario 1,8 cm is. Het kaartbeeld zet deze cijfers in het juiste perspectief. De toename in het 42,5_3 scenario is zeer lokaal, terwijl die in het marktvraag scenario vrijwel het hele Loppersum gebied beslaat.

De compactie rond de zuidelijke clusters zal iets toenemen, met name in een gebied net ten noorden van Hoogezand. Dit is mede het gevolg van het in het model egaal houden van de druk in het zuidelijke gebied.

Vraag II: 42,5_3 in vergelijking met resp. 40_3, 35_3 en 30_3

Stapsgewijze verlaging van de totale Groningen veldproductie leidt tot een steeds iets mindere toename van de compactie buiten het Loppersum gebied, waarbij het ruimtelijk patroon ongeveer gelijk blijft. Dit laatste is een gevolg van de egalisatie van druk buiten het Loppersum gebied in het reservoir model.

In de brief aan de Kamer [EZ 2014] is aangegeven, wat de toename in de compactie in het zuidelijk gebied in de komende 3 jaar zou zijn:

42,5_3	:	1,4	cm
40-3	:	1,4 – 0,25	cm
35-3	:	1,4 – 0,5	cm
30-3	:	1,4 – 0,7	cm

Deze cijfers betreffen gemiddelde waarden over het zuidelijke gebied. De kaartbeelden in dit rapport laten ook de ruimtelijke variatie zien in de toename van de compactie.

Het effect van de onderzochte stapsgewijze verlagingen van de veldproductie treedt op in gebieden, waar de compactie en (dus) ook de partiticoëfficiënt op dit moment nog relatief laag is ten opzichte van die in het Loppersum gebied. De toename in de seismische dreiging die daar het gevolg van is daardoor gering.

Opgemerkt moet worden, dat de scenario's 40_3, 35_3 en 30_3 niet zijn getoetst aan de randvoorwaarde voor leveringszekerheid.

Vraag III: Loppersum gebied: maximaal 3 miljard Nm³/jaar vs. volledige productiestop Loppersum

In alle gevallen waarin – bij een gegeven veldproductie - een scenario van een maximum productie uit de Loppersum clusters van 3 miljard Nm³/jaar (dat zijn: 42,5_3, 40_3, 35_3 en 30_3) wordt vergeleken met een volledige productiestop uit die clusters (42,5_0, 40_0, 35_0 en 30_0), is een klein en lokaal effect op de compactie te zien rond de Ten Post cluster.

In de brief aan de Kamer (EZ, 2014b) is aangegeven, dat in het 42,5_3 scenario de compactie zal toenemen met 1,8 cm en in het 42,5_0 met 1,5 cm. Het verschil tussen beide scenario's valt binnen de onzekerheidsmarge. Belangrijk is ook hier dat het om zeer lokale effecten gaat. Dit geldt ook voor de andere productievarianten van respectievelijk 40, 35 en 30 miljard Nm³/jaar.

De additionele afname in relatieve seismische dreiging voor de scenario's waarbij de Loppersum clusters volledig worden geproduceerd ten opzichte van de scenario's met beperkte productie (Figuur I-2, Figuur I-9, Figuur I-10 en Figuur I-11) is veel kleiner dan de afname die wordt veroorzaakt door de keuze om in Loppersum beperkt te gaan produceren (Figuur 6-5).

Vraag IV: Zuidelijke gebied: Marktvraag scenario vs. scenario cf. kabinetsbesluit

Onder vraag I is al ingegaan op de te verwachten ontwikkeling van de compactie in het zuidelijke gebied van het Groningen veld.

Bijzondere aandacht verdient een gebiedje in het uiterste zuidwesten rond de Froombosch clusters (KPD, FRB, SLO) ten noorden van Hoogezand. Voor het scenario 42,5_3 gaan deze clusters – bij egaal houden van de drukverdeling - meer produceren in 2015 en 2016 in vergelijking met het marktvraagscenario. Aangezien het porositeitsmodel daar een lokaal hoog-poreus gebied in het reservoir weergeeft neemt de compactie, door de niet-lineaire relatie tussen porositeit en compactie, daar verhoudingsgewijs meer toe.

De toename van de seismische dreiging (Figuur 6-5) is echter maar een fractie (2,5%) van de afname van seismische dreiging in het Loppersum gebied.

Vraag V: Het effect van de drukgradiënten die ontstaan door productie binnen de randvoorwaarden van het kabinetsbesluit

De gemiddelde drukdaling in het Groningen veld over de komende drie jaar zal circa 20 bar zijn.

Volgens het marktvraag scenario zullen de drukverschillen globaal volgens de huidige drukverdeling zijn. Dit is het gevolg van de operationele strategie van drukegalisatie, die NAM tot nu toe heeft gevoerd. Echter, onder die strategie neemt de compactie in hoog-poreuze delen van het veld sneller toe dan elders en ontstaan er compactiegradiënten.

In het Loppersum gebied zal de druk maximaal 9 bar afnemen, in het zuidelijke gebied maximaal 30 bar. Het 42,5_3 scenario zal leiden tot een toename van de drukgradiënten in de tijd. Echter reduceert dit scenario de toename van compactie in het Loppersum gebied, waardoor de compactiegradiënten afnemen in de tijd. Aangezien niet de druk een directe relatie met de seismiciteit heeft, maar de compactie waarbij vooral differentiële compactie (oftewel compactiegradiënten) een rol speelt, is een afname van de compactiegradiënt naar verwachting gunstig voor de beperking van de seismiciteit.

9 Referenties

- EZ 2014a Brief van de Minister van Economische Zaken aan de Vaste Kamercommissie (kenmerk: DGETM/ 14008697) 17 januari 2014
- EZ 2014b 33529 Gaswinning Groningenveld Nr. 33 Brief van de minister van Economische Zaken aan de Tweede Kamer 5 februari 2014
- Mulders 2003 Mulders, F. M. M. (2003), Modelling of stress development and fault slip in and around producing gas reservoirs, Ph.D. thesis, Delft University of Technology
- Roest en Kuilman 1994 Roest, J.P.A. and Kuilman, W. (1994), Geomechanical Analysis of Small Earthquakes at the Eleveld Gas Reservoir, Proc. Eurock '94, pp. 573-580, Balkema (Rotterdam)
- TNO 2013 Toetsing van de bodemdalingsprognoses en seismische hazard ten gevolge van gaswinning van het Groningen veld. TNO rapport 2013 R11953, 23 december 2013.
- TNO 2014 Effecten verschillende productiescenario's op de verdeling van de compactie in het Groningen veld in de periode 2014 t/m 2016. TNO rapport 2014 R10427, 7 maart 2014.
- NAM 2013 Wijziging winningsplan Groningen 2013, inclusief technische bijlage Groningen winningsplan 2013. Versie 29 november 2013.

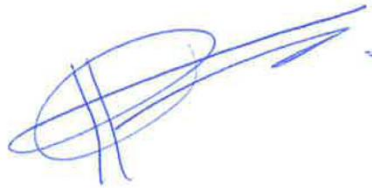
10 Dankwoord

Dit rapport was niet mogelijk geweest zonder de reservoir engineer die de runs van het dynamische reservoir model heeft uitgevoerd. Verder ook bedankt aan de collega die de Petrel figuren heeft gemaakt voor dit rapport.

11 Ondertekening

Utrecht, 7 maart 2014

TNO

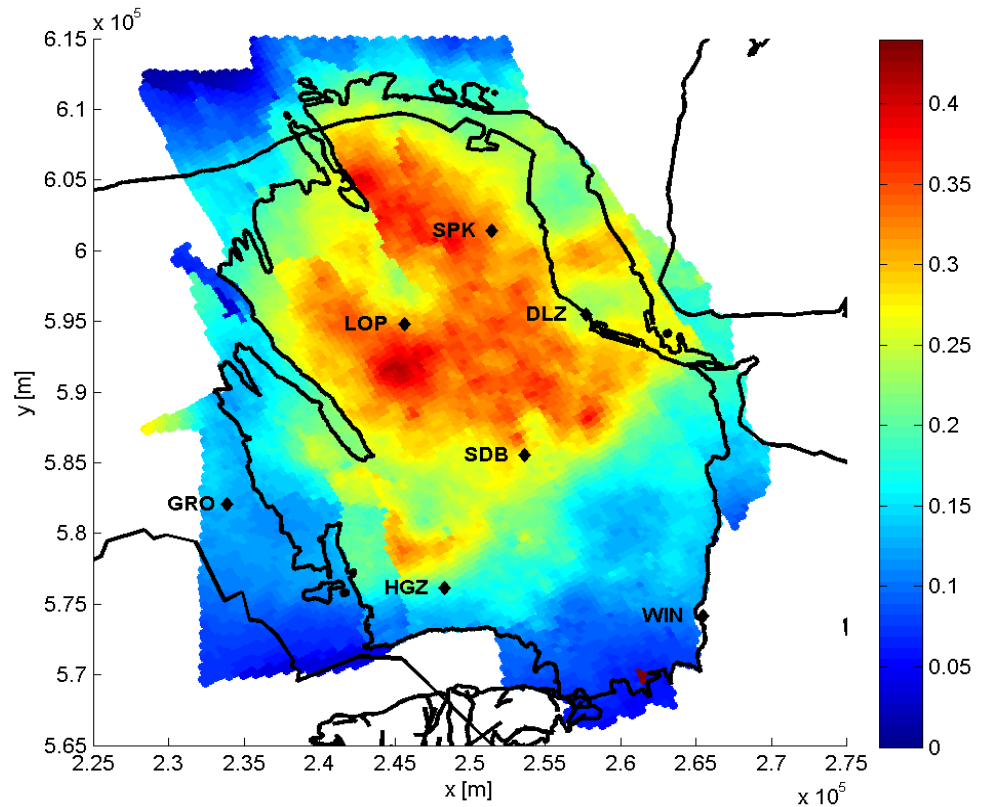
A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Dr. I.C. Kroon
Afdelingshoofd

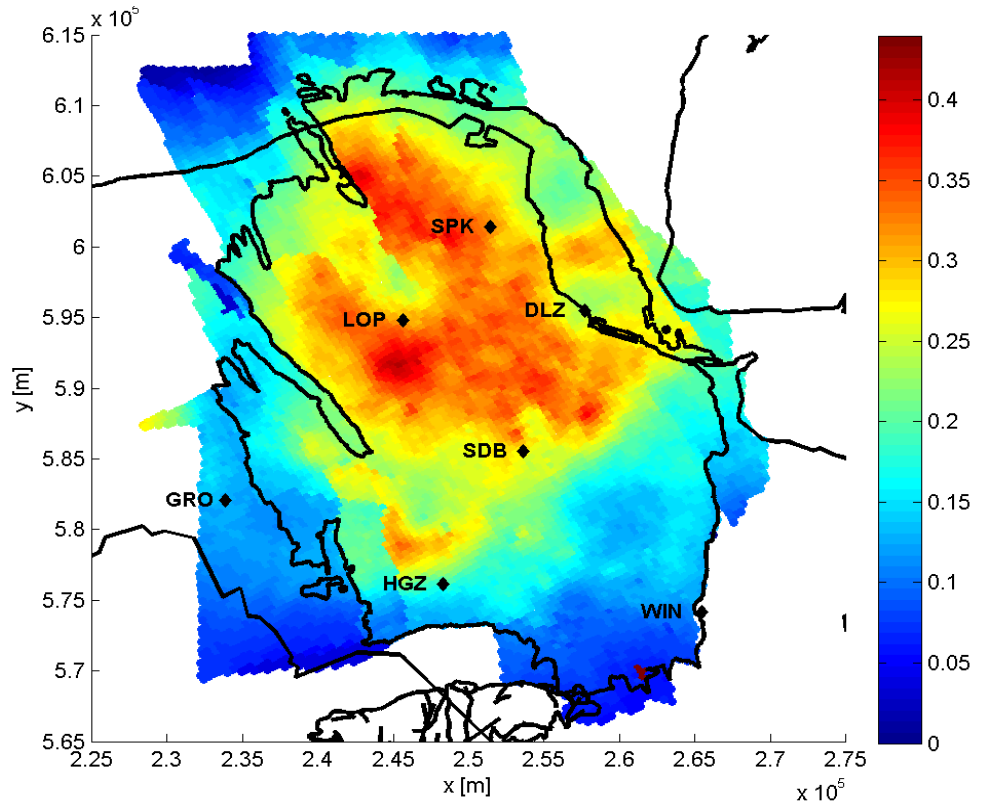
Dr. K. van Thienen-Visser, Dr. J.N.
Breunese
Auteur

A. Appendix A: Compactie eind december 2016

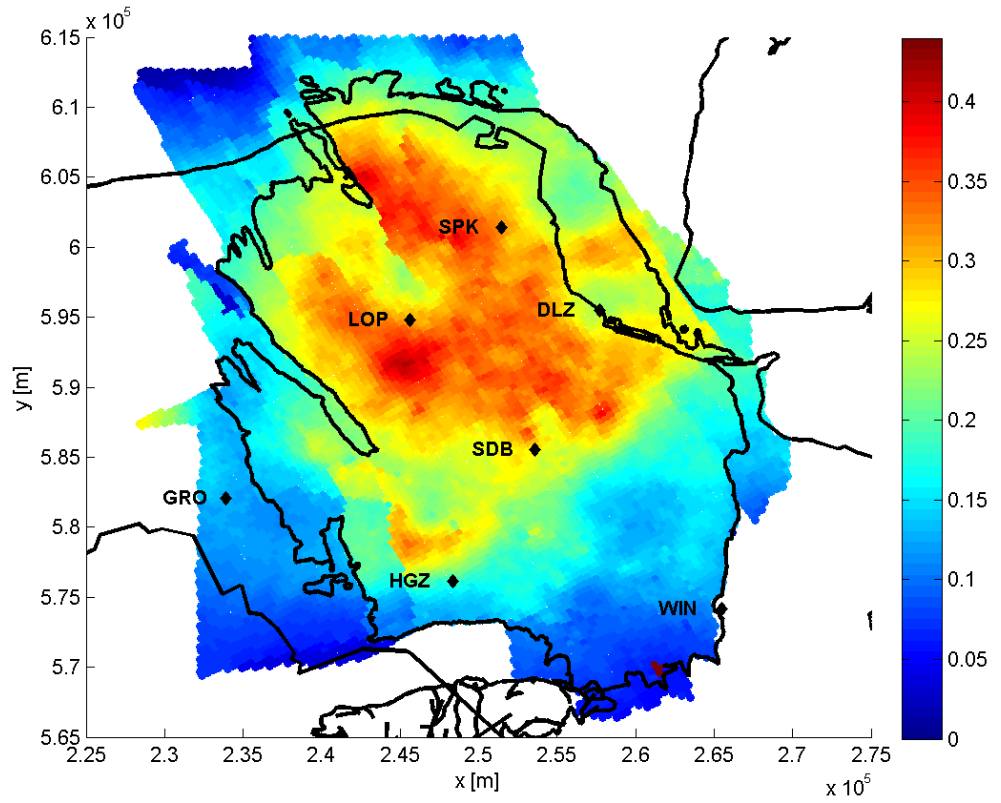
De figuren in deze appendix laten de totale compactie eind 2016 zien, berekend met het RTiCM model, volgens één van de scenario's in Tabel 3-1. Daarnaast zijn de contouren van het veld aangegeven, de kustlijn en een aantal steden in het Groningen veld (GRO=Groningen, LOP=Loppersum, SPK=Spijk, SDB=Siddeburen, HGZ=Hoogezand, WIN=Winschoten, DLZ=Delfzijl). De kleurschalen zijn hetzelfde gekozen, met als limiet 44 cm.



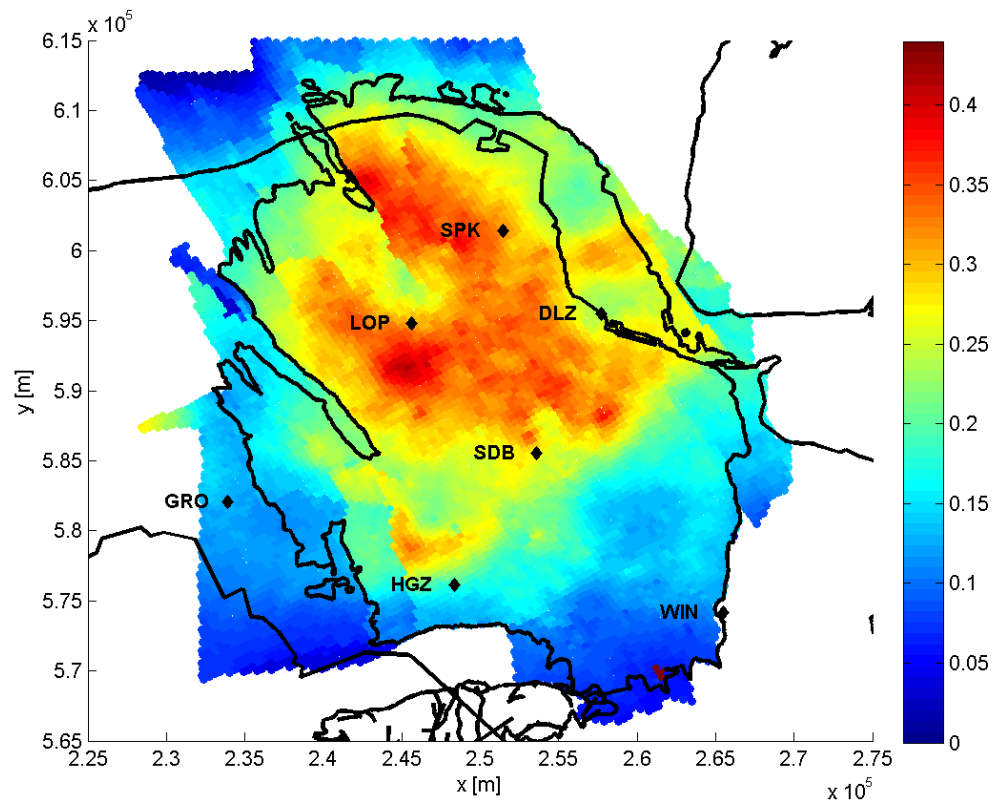
Figuur A-1. Compactie (m) eind 2016 met het 42,5_3 scenario



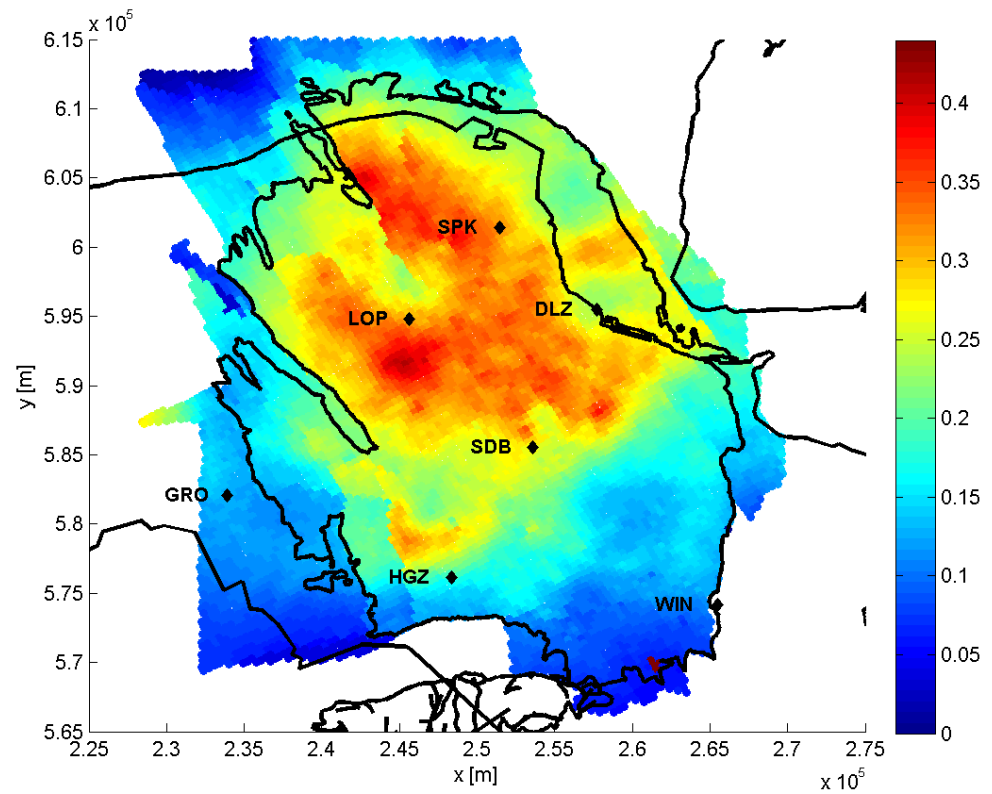
Figuur A-2. Compactie (m) eind 2016 met het 42,5_0 scenario



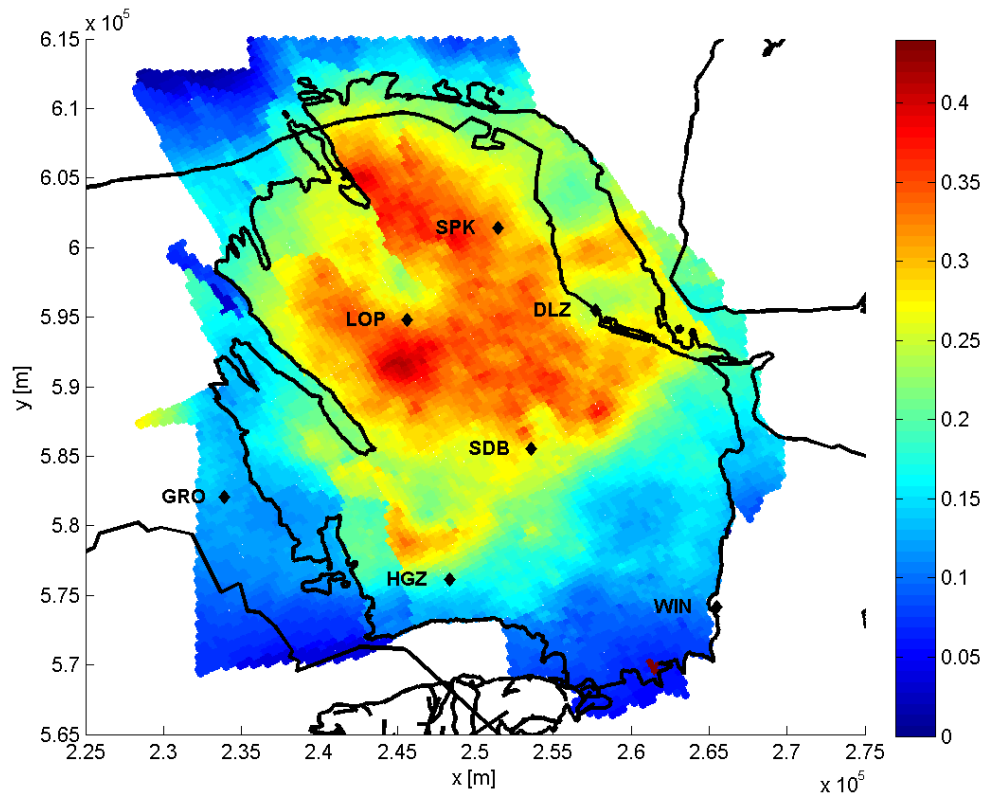
Figuur A-3. Compactie (m) eind 2016 voor het scenario met een 40 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters volledig zijn stilgelegd (40_0).



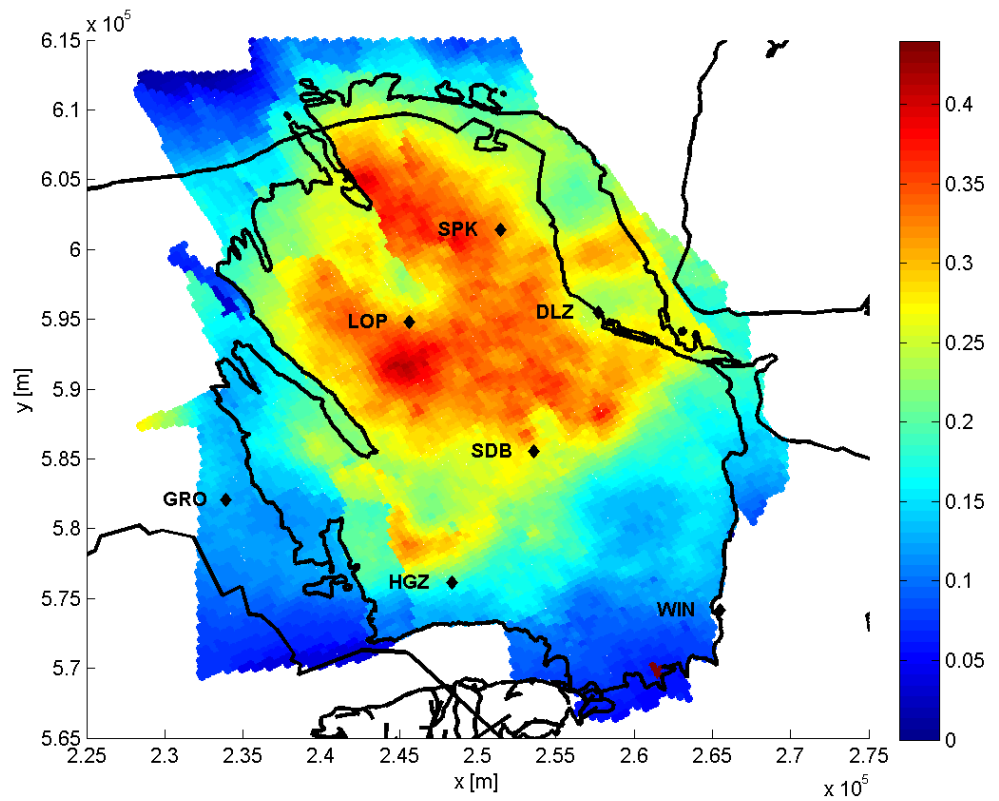
Figuur A-4. Compactie (m) eind 2016 voor het scenario met een 35 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters volledig zijn stilgelegd (35_0).



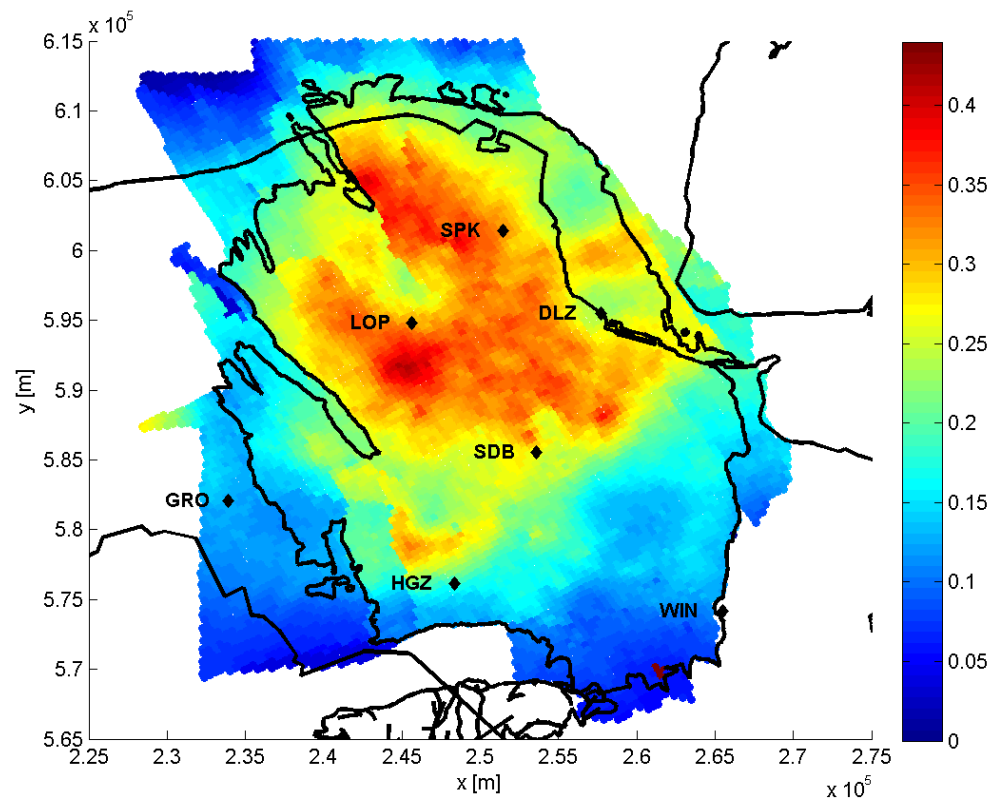
Figuur A-5. Compactie (m) eind 2016 voor het scenario met een 30 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters volledig zijn stilgelegd (30_0).



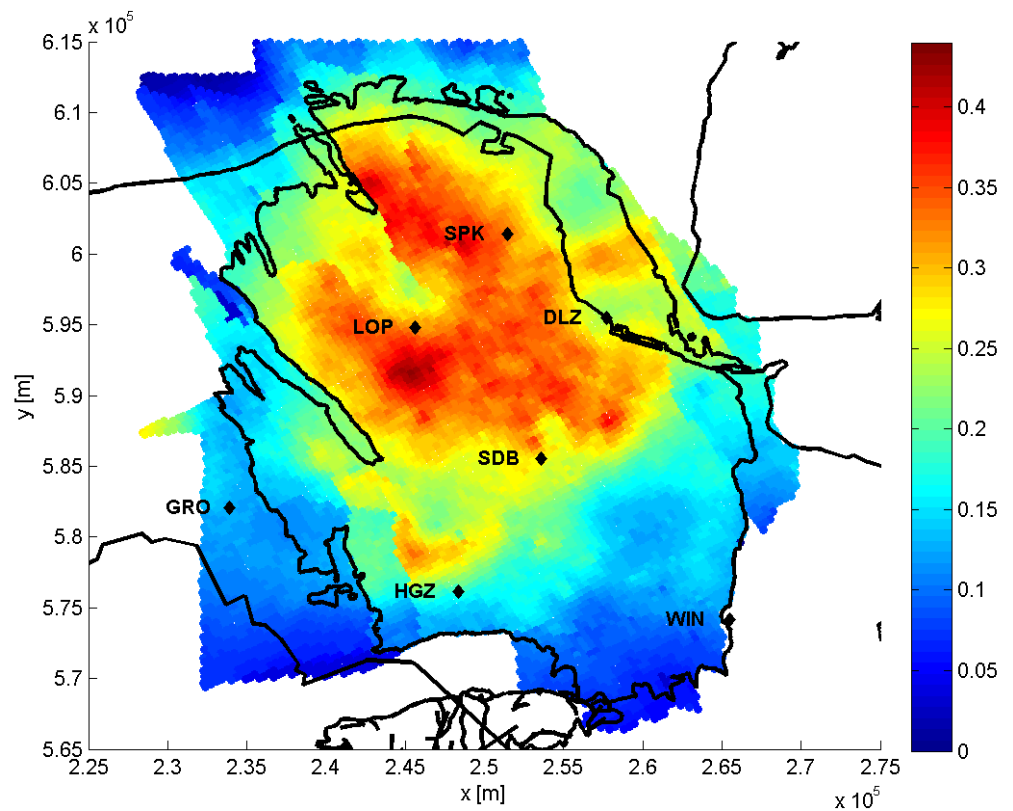
Figuur A-6. Compactie (m) eind 2016 voor het scenario met een 40 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters beperkt zijn stilgelegd (40_3).



Figuur A-7. Compactie (m) eind 2016 voor het scenario met een 35 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters beperkt zijn stilgelegd (35_3).



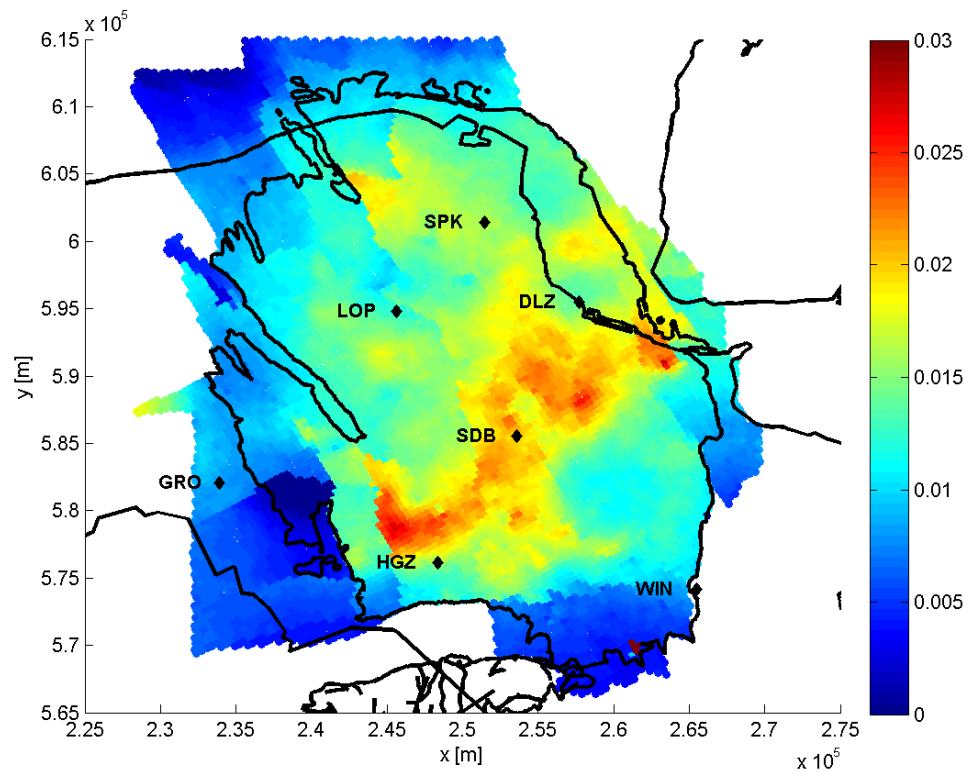
Figuur A-8. Compactie (m) eind 2016 voor het scenario met een 30 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters beperkt zijn stilgelegd (30_3).



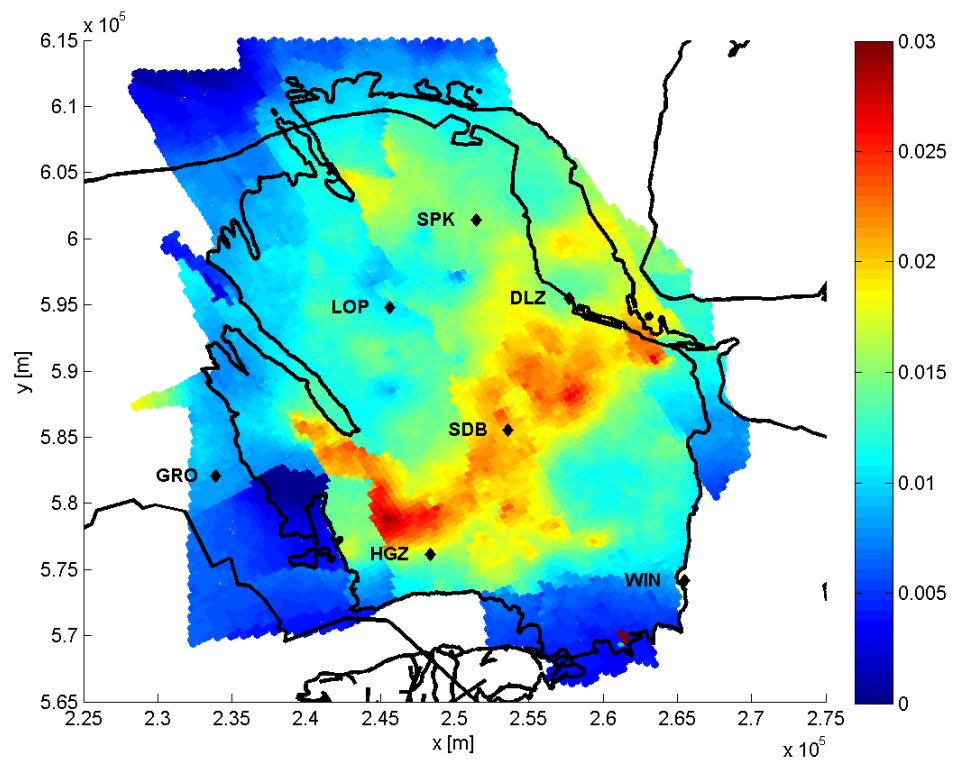
Figuur A-9. Compactie (m) eind 2016 voor het scenario wat de markt vraag volgt.

B. Appendix B: Toename compactie 2014 tot en met 2016 voor de productiescenario's

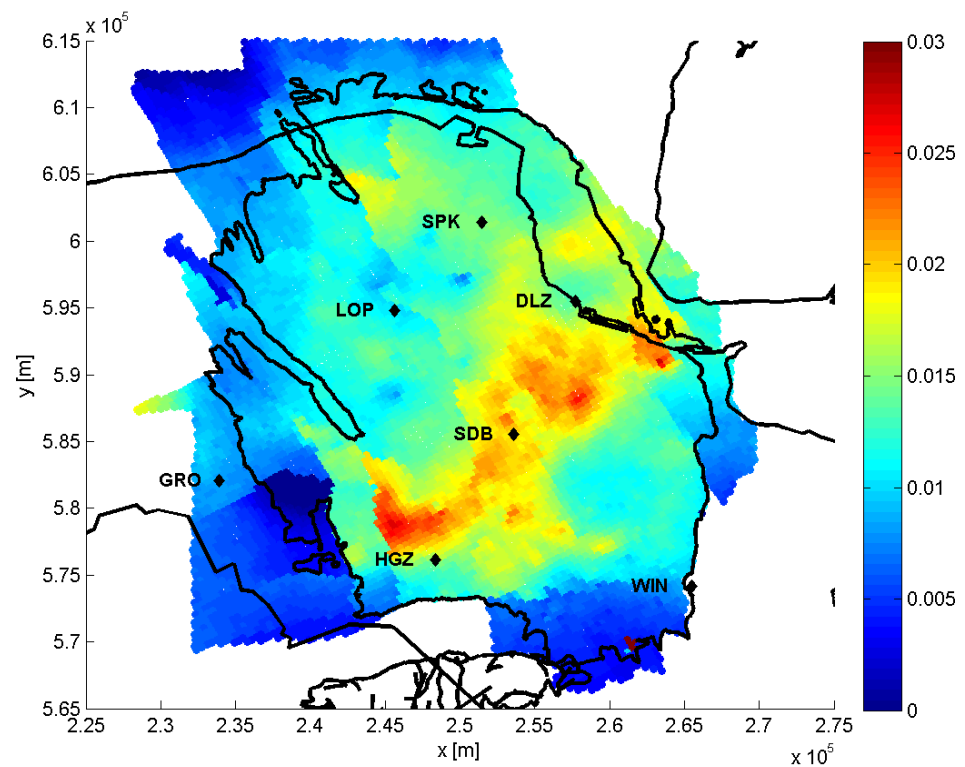
De figuren in deze appendix laten de toename in compactie zien van januari 2014 tot en met december 2016, berekend met het RTiCM model, volgens één van de scenario's in Tabel 3-1. Daarnaast zijn de contouren van het veld aangegeven, de kustlijn en een aantal steden in het Groningen veld (GRO=Groningen, LOP=Loppersum, SPK=Spijk, SDB=Siddeburen, HGZ=Hoogezand, WIN=Winschoten, DLZ=Delfzijl). De kleurschalen zijn hetzelfde gekozen, met als maximum 3 cm.



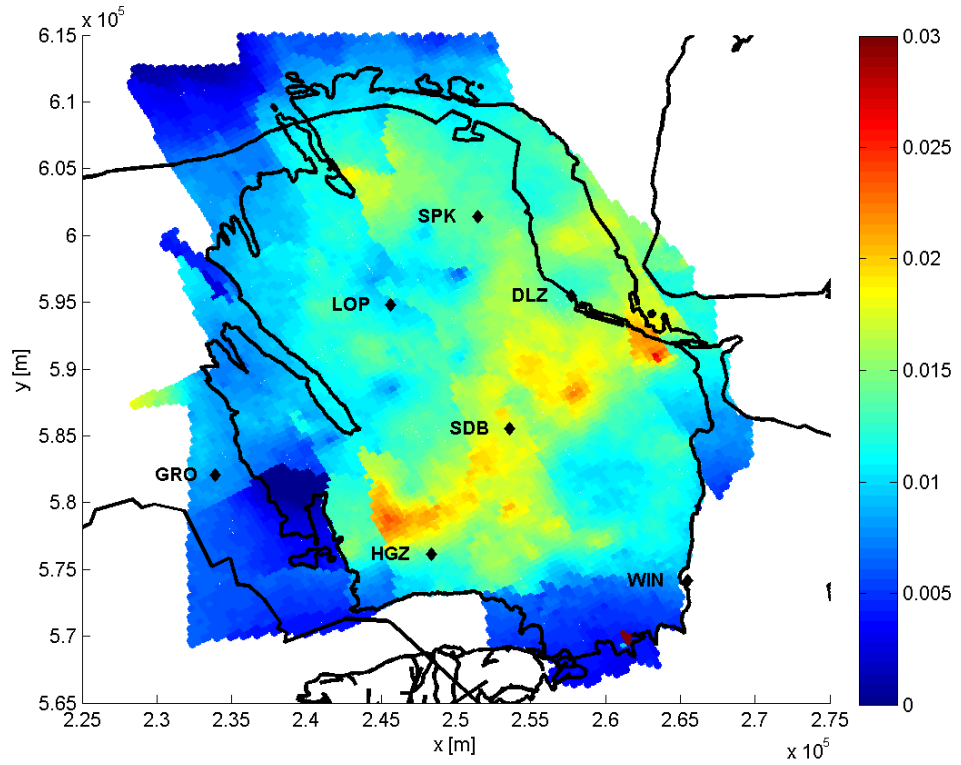
Figuur B-1. Toename in compactie in (m) van januari 2014 tot en met december 2016 voor het 42,5_3 scenario



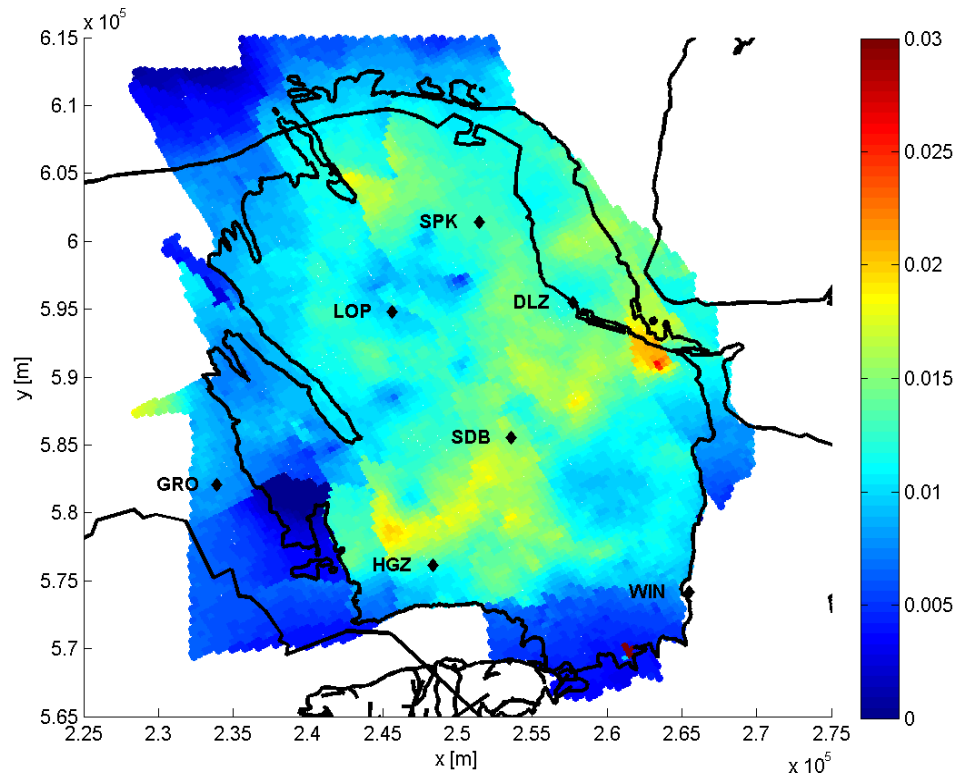
Figuur B-2. Toename in compactie in (m) van januari 2014 tot en met december 2016 met het 42,5_0 scenario



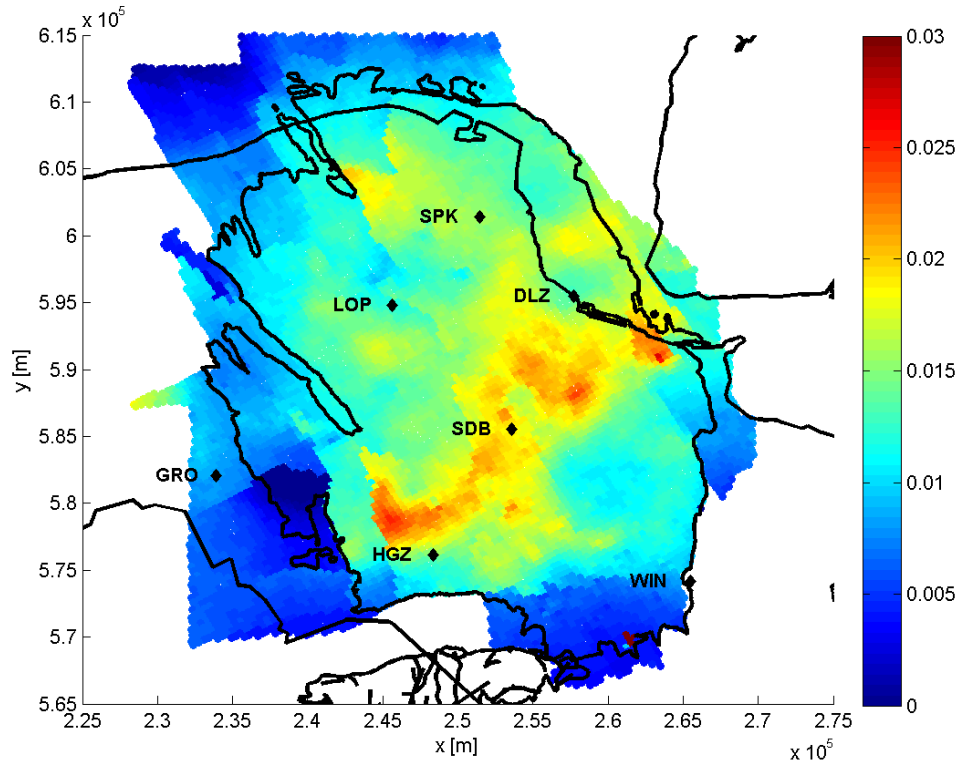
Figuur B-3. Toename in compactie in (m) van januari 2014 tot en met december 2016 voor het scenario met een 40 miljard Nm^3 productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters volledig zijn stilgelegd (40_0).



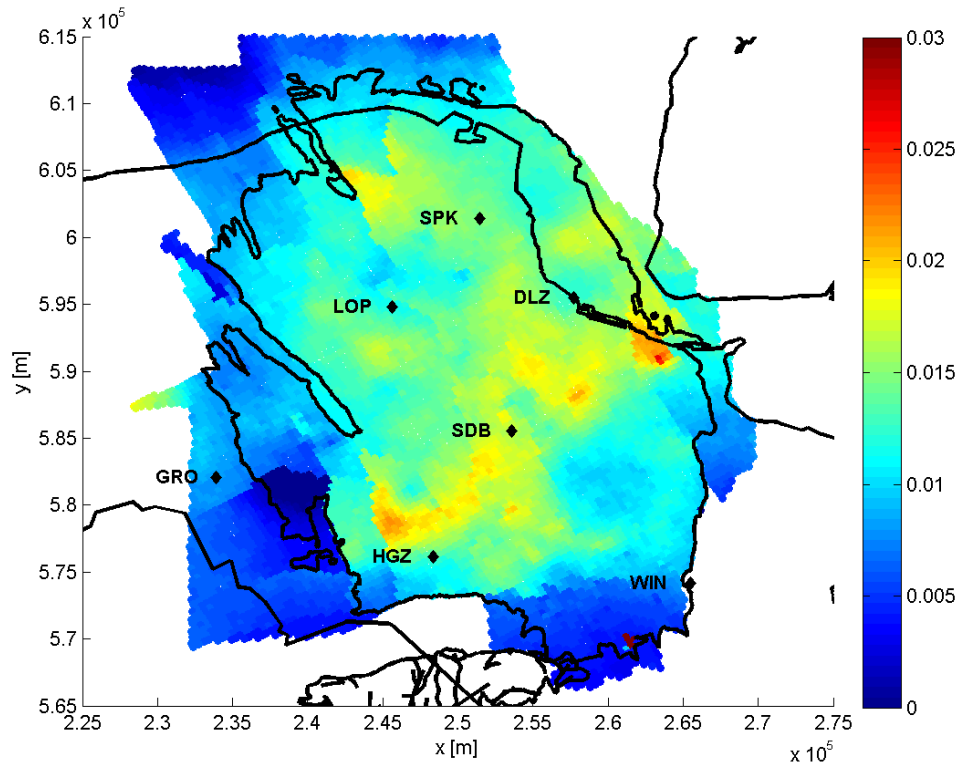
Figuur B-4. Toename in compactie in (m) van januari 2014 tot en met december 2016 voor het scenario met een 35 miljard Nm^3 productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters volledig zijn stilgelegd (35_0).



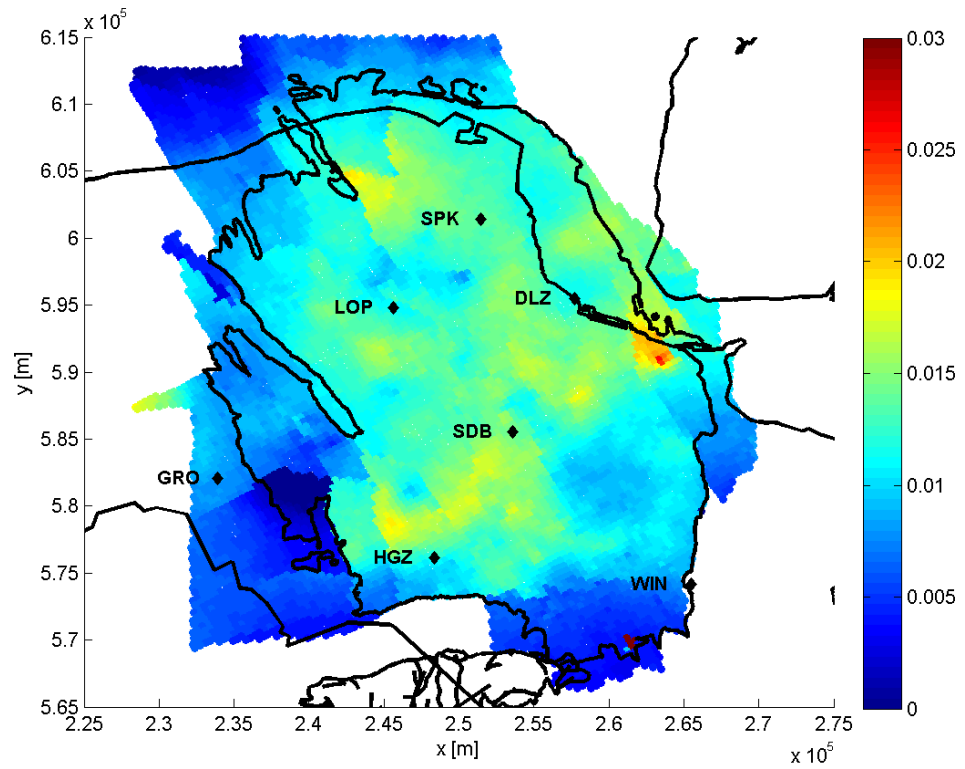
Figuur B-5. Toename in compactie in (m) van januari 2014 tot en met december 2016 voor het scenario met een 30 miljard Nm^3 productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters volledig zijn stilgelegd (30_0).



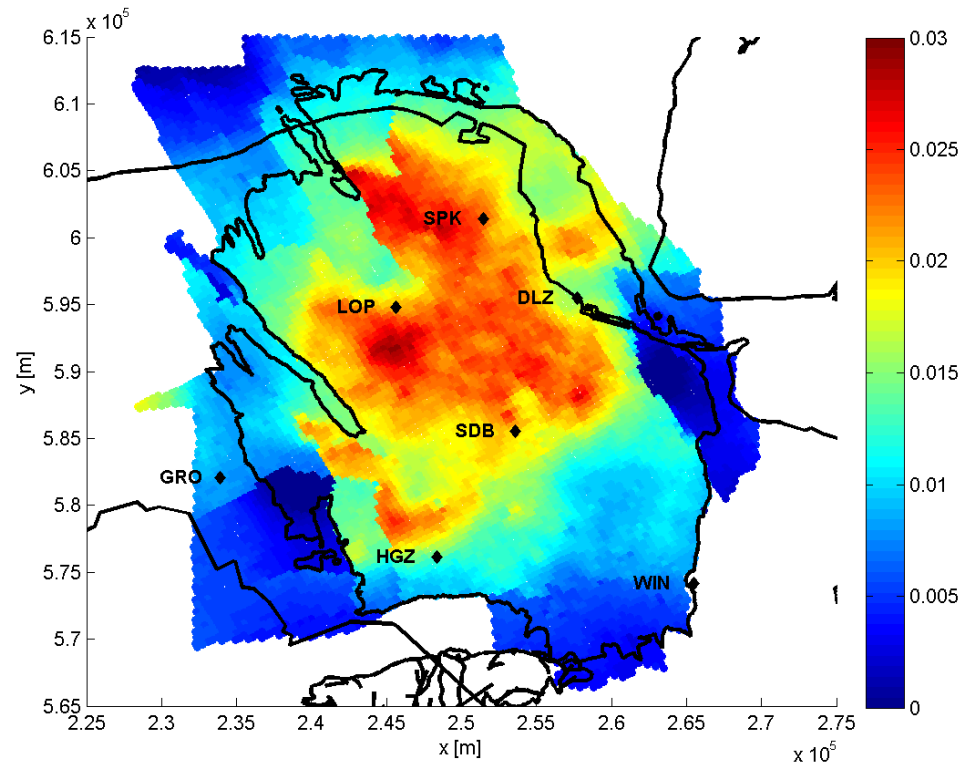
Figuur B-6. Toename in compactie in (m) van januari 2014 tot en met december 2016 voor het scenario met een 40 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters beperkt zijn stilgelegd (40_3).



Figuur B-7. Toename in compactie in (m) van januari 2014 tot en met december 2016 voor het scenario met een 35 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters beperkt zijn stilgelegd (35_3).



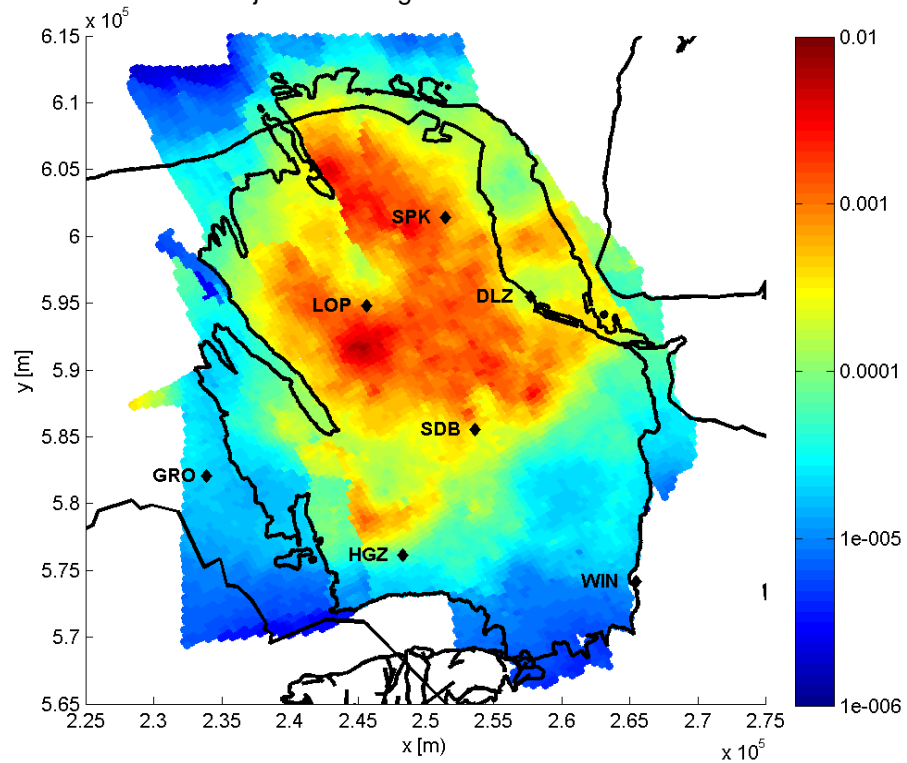
Figuur B-8. Toename in compactie in (m) van januari 2014 tot en met december 2016 voor het scenario met een 30 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters beperkt zijn stilgelegd (30_3).



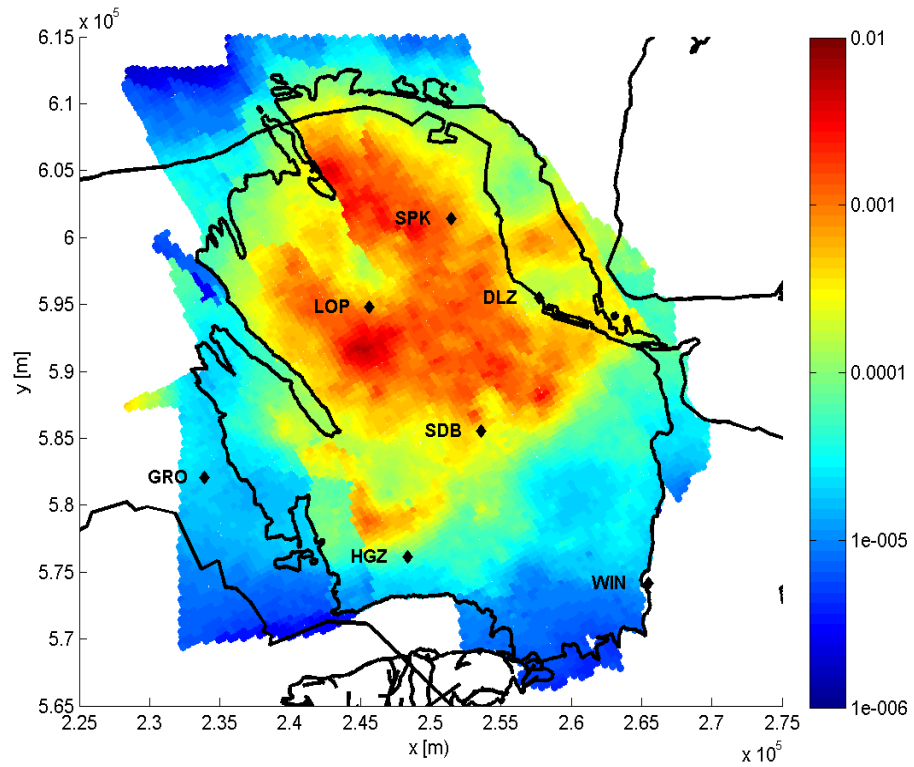
Figuur B-9. Toename in compactie in (m) van januari 2014 tot en met december 2016 voor het scenario wat de markt vraagt.

C. Appendix C: partiticoëfficiënt eind 2016 voor de productiescenario's

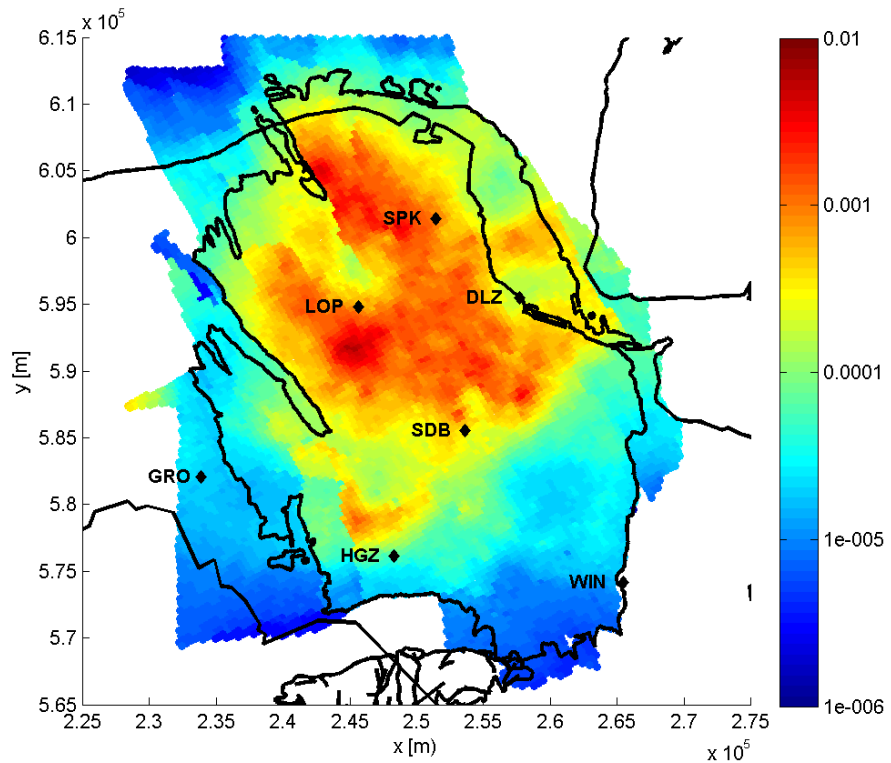
De figuren in deze appendix laten de partiticoëfficiënt eind 2016 zien volgens de scenario's in Tabel 3-1. Hierbij is de compactie berekend met het RTiCM model en is de exponentiële relatie tussen de compactie en partiticoëfficiënt gebruikt (Figuur 3-4). Daarnaast zijn de contouren van het veld aangegeven, de kustlijn en een aantal steden in het Groningen veld (GRO=Groningen, LOP=Loppersum, SPK=Spijk, SDB=Sidderburen, HGZ=Hoogezand, WIN=Winschoten, DLZ=Delfzijl). De kleurschalen zijn hetzelfde gekozen.



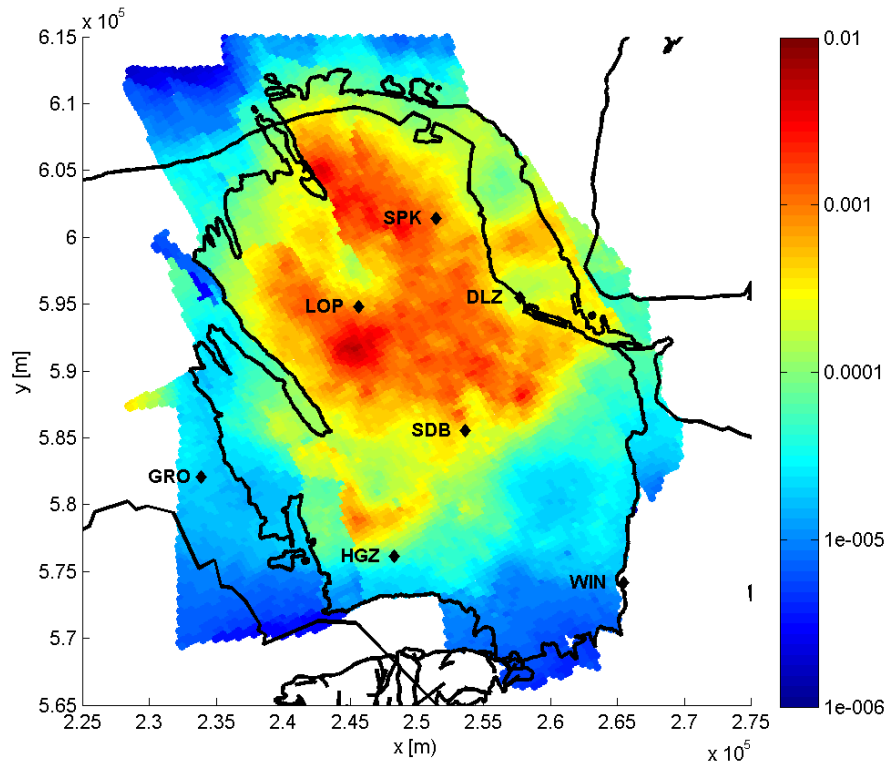
Figuur C-1. Partiticoëfficiënt voor het 42,5_3 scenario.



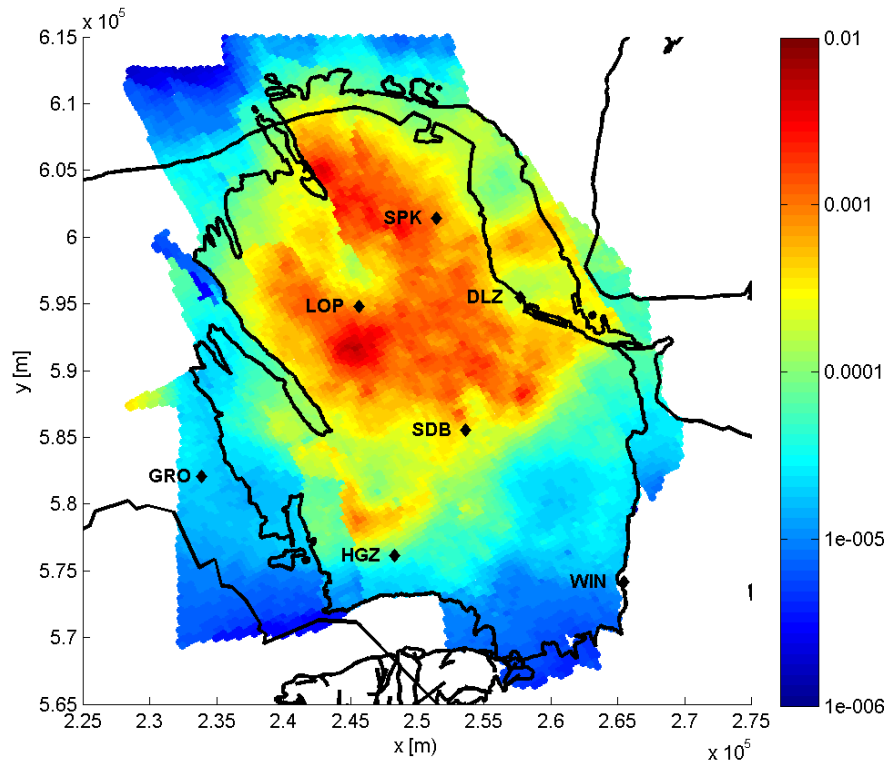
Figuur C-2. Partiticoëfficiënt voor het 42,5_0 scenario.



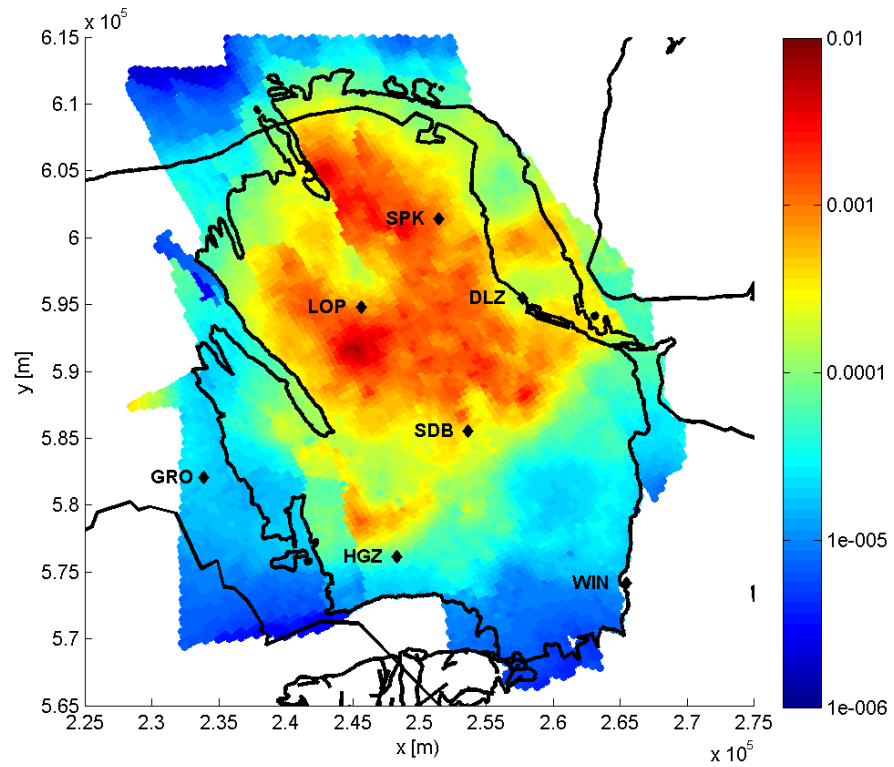
Figuur C-3 . Partiticoëfficiënt voor het scenario met een 40 miljard Nm^3 jaarlijkse productie en het stilleggen van productie in Loppersum (40_0).



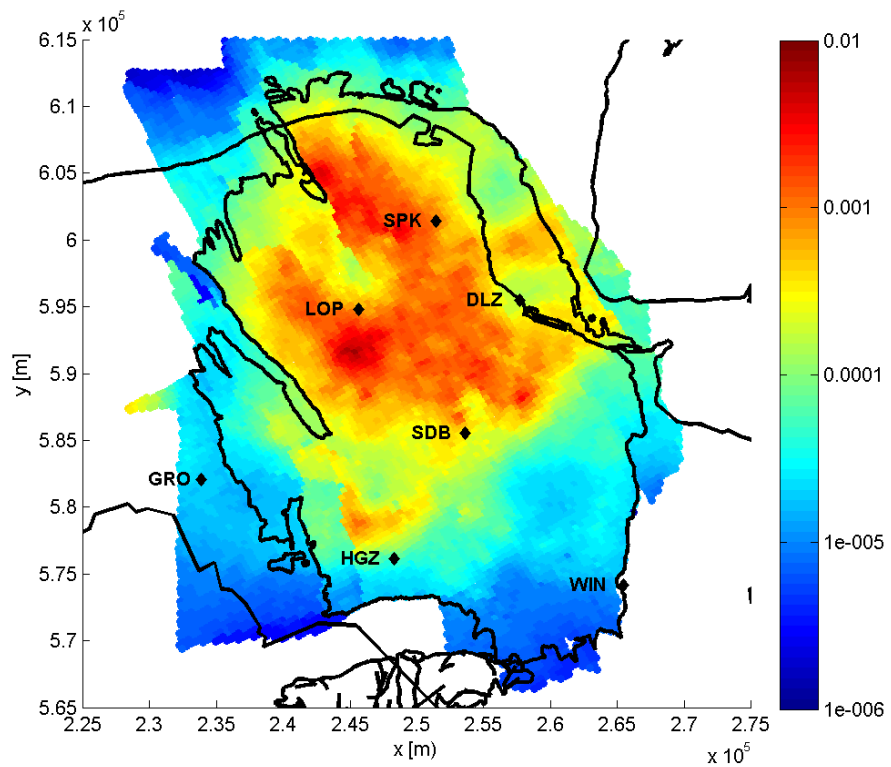
Figuur C-4. Partiticoëfficiënt voor het scenario met een 35 miljard Nm^3 jaarlijkse productie en het stilleggen van productie in Loppersum (35_0).



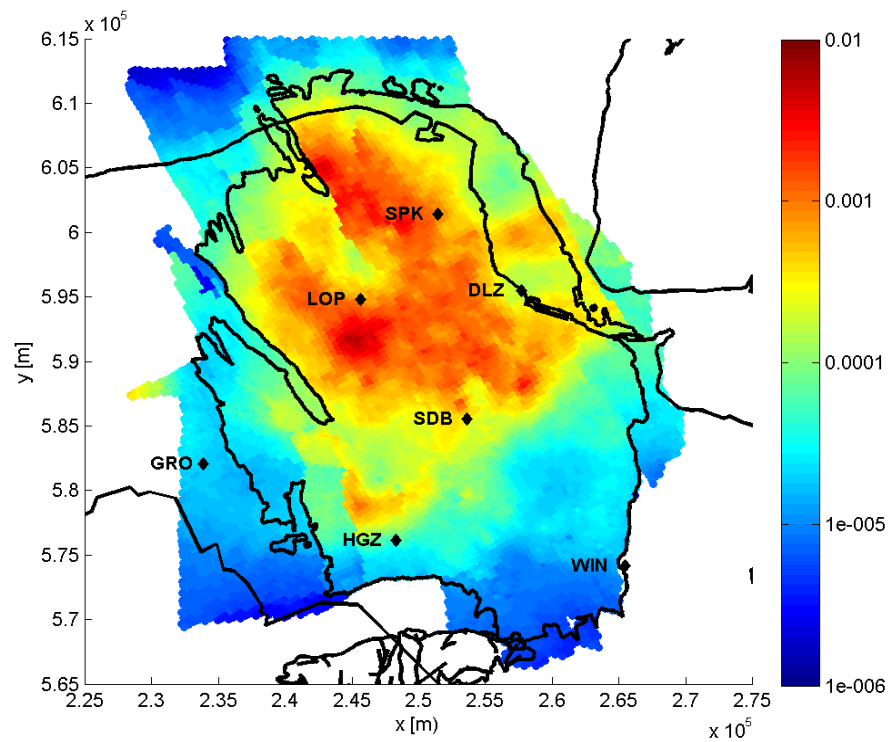
Figuur C-5. Partiticoëfficiënt voor het scenario met een 30 miljard Nm^3 jaarlijkse productie en het stilleggen van productie in Loppersum (30_0).



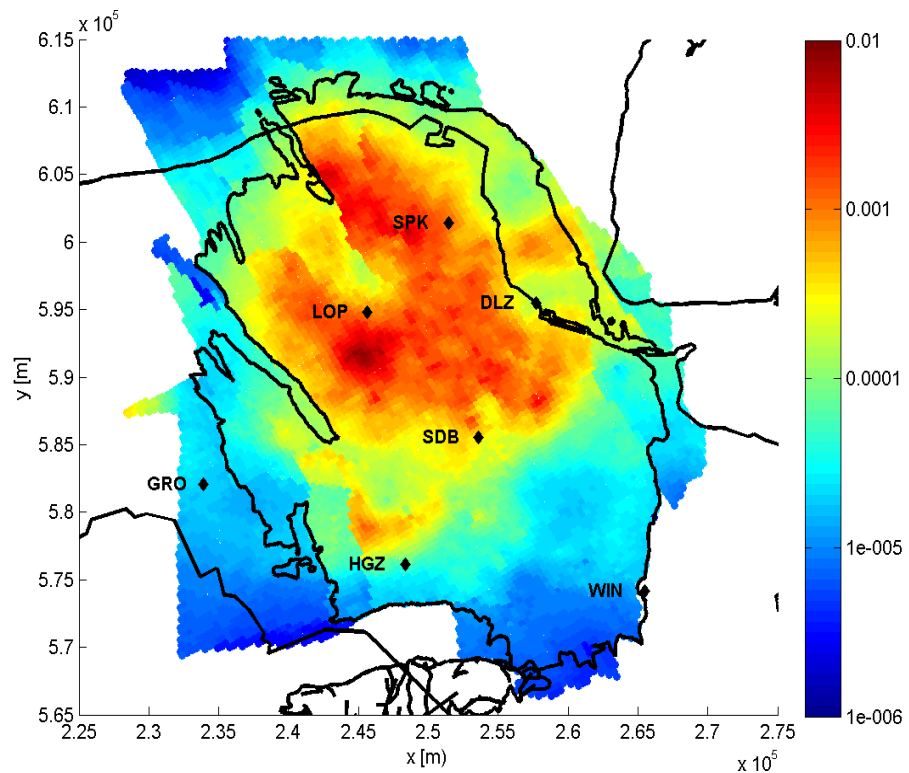
Figuur C-6. Partiticoëfficiënt voor het scenario met een 40 miljard Nm^3 jaarlijkse productie en het beperkt produceren van de Loppersum clusters (40_3).



Figuur C-7. Partiticoëfficiënt voor het scenario met een 35 miljard Nm^3 jaarlijkse productie en het beperkt produceren van de Loppersum clusters (35_3).



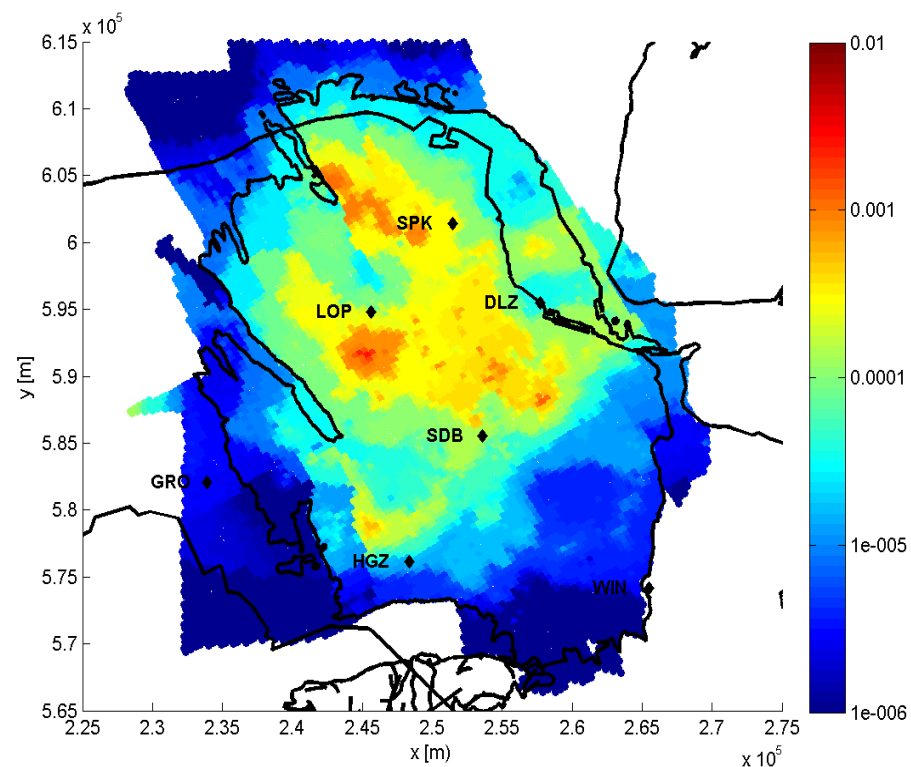
Figuur C-8. Partiticoëfficiënt voor het scenario met een 30 miljard Nm³ jaarlijkse productie en het beperkt produceren van de Loppersum clusters (30_3).



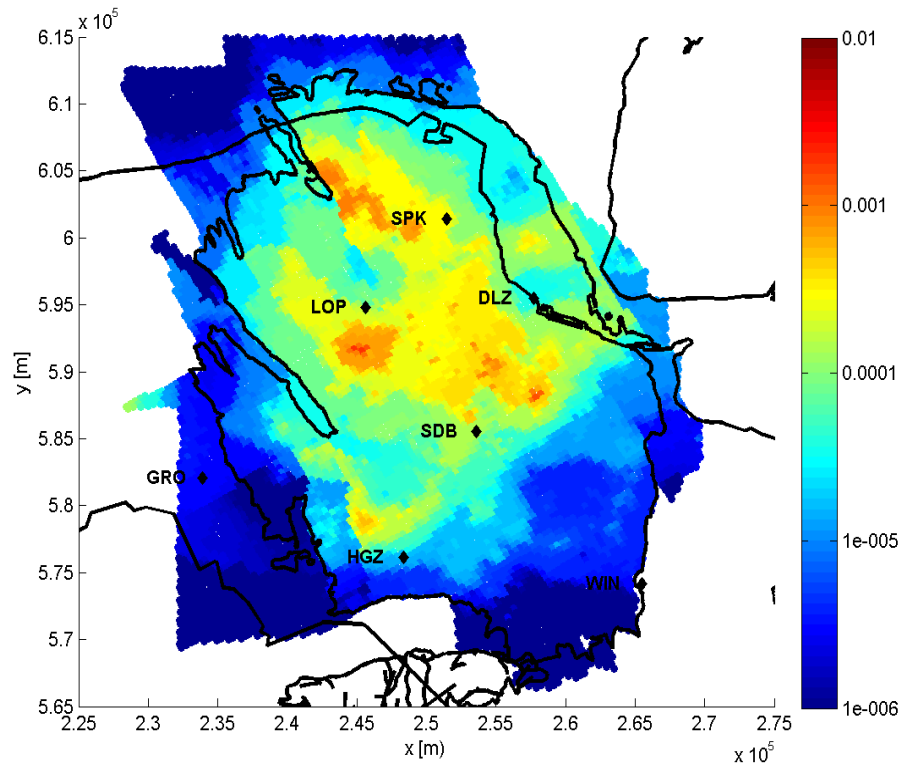
Figuur C-9. Partiticoëfficiënt voor het scenario wat de markt vraagt.

D. Appendix D: Toename partiticoëfficiënt 2014 tot en met 2016 voor de productiescenario's

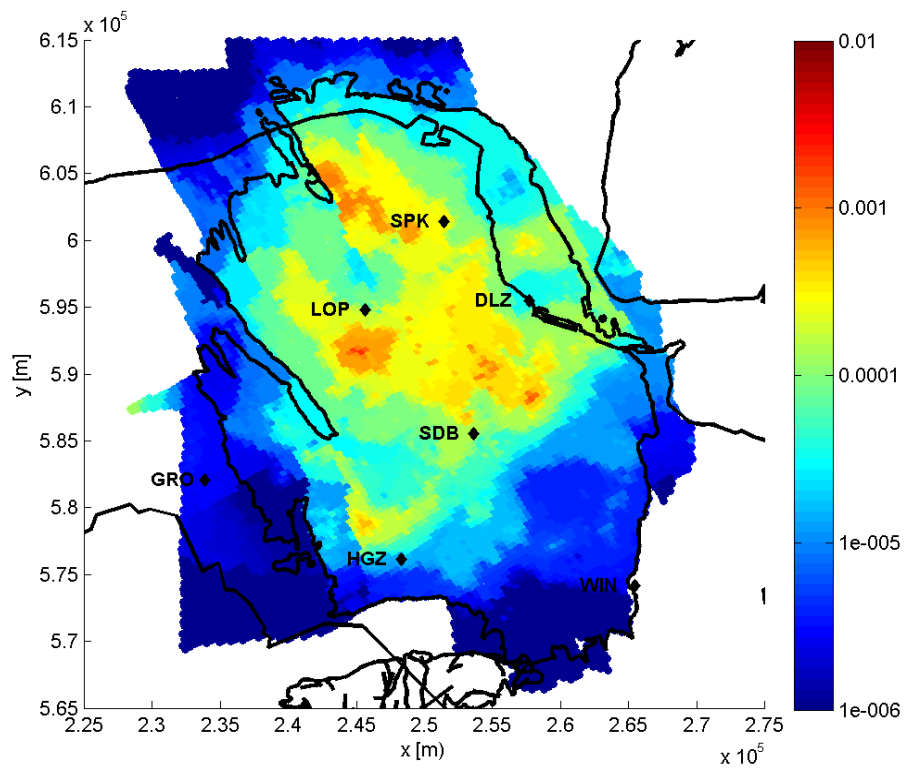
De figuren in deze appendix laten de toename in de partiticoëfficiënt van januari 2014 tot januari 2017 zien volgens de scenario's in Tabel 3-1. Hierbij is de compactie berekend met het RTiCM model en is de exponentiële relatie tussen de compactie en partiticoëfficiënt gebruikt (Figuur 3-4). Daarnaast zijn de contouren van het veld aangegeven, de kustlijn en een aantal steden in het Groningen veld (GRO=Groningen, LOP=Loppersum, SPK=Spijk, SDB=Sidderburen, HGZ=Hoogezand, WIN=Winschoten, DLZ=Delfzijl). De kleurschalen zijn hetzelfde gekozen met als maximum 0.01.



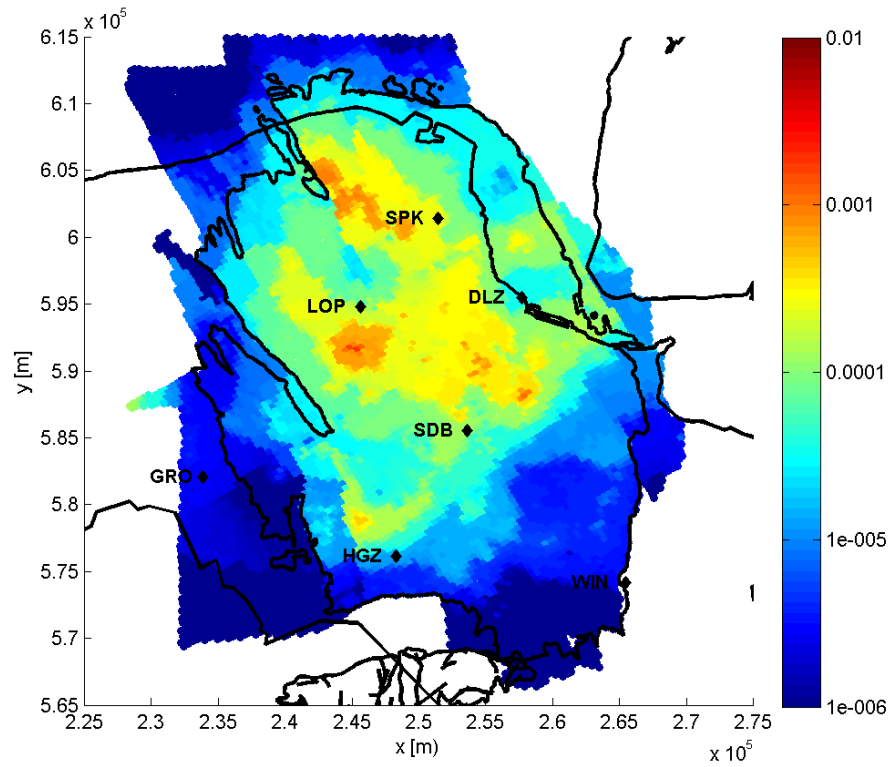
Figuur D-1. Toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het 42,5_3 scenario.



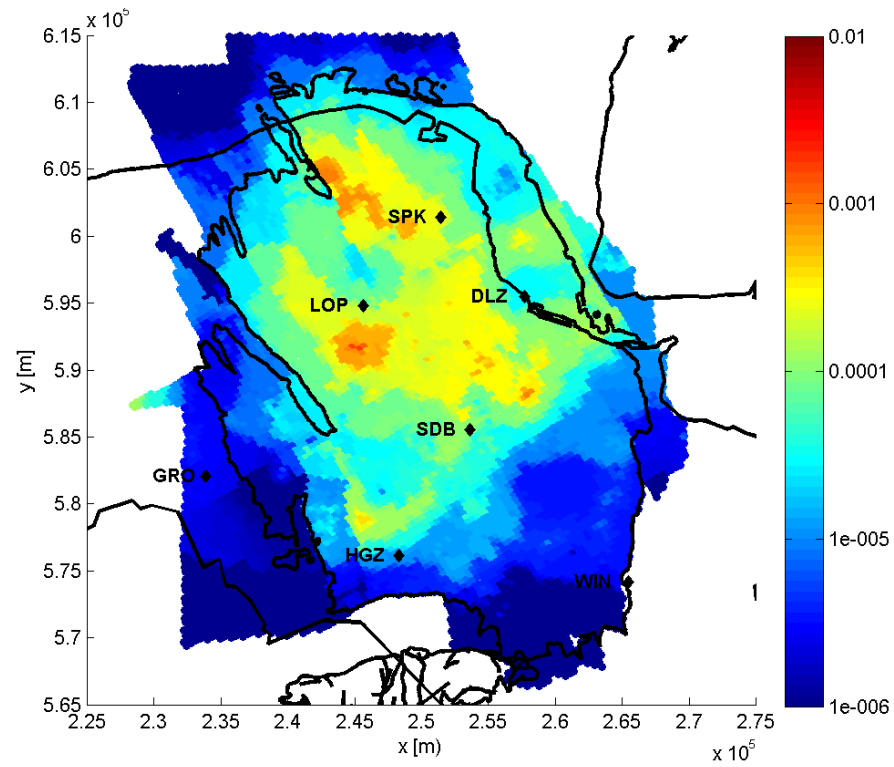
Figuur D-2. Toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het 42,5_0 scenario



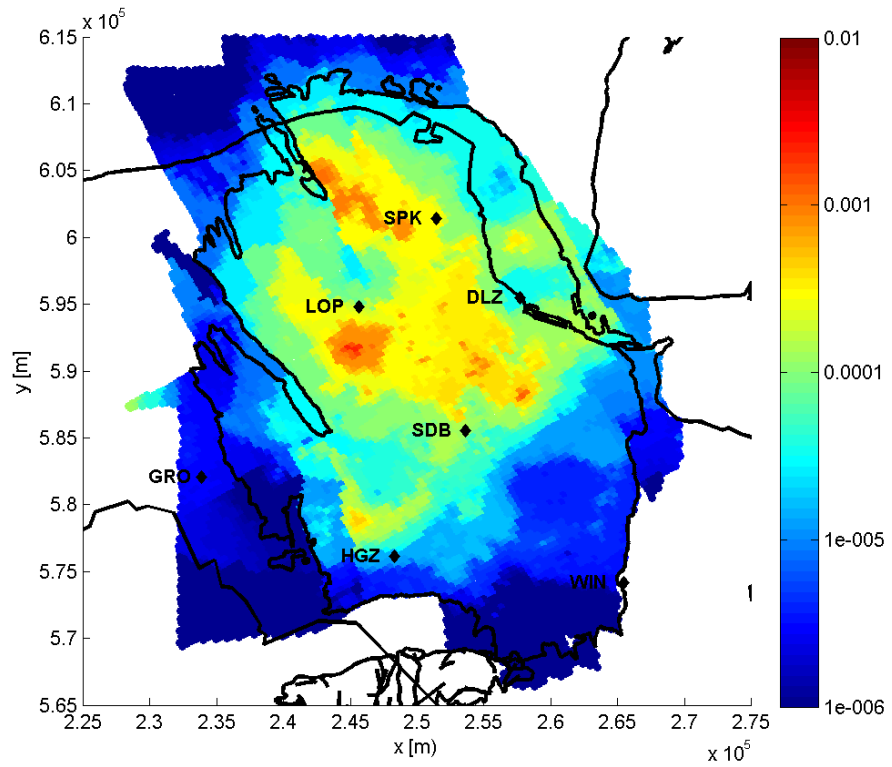
Figuur D-3. Toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario met een 40 miljard Nm³ jaarlijkse productie en het stilleggen van productie in Loppersum (40_0).



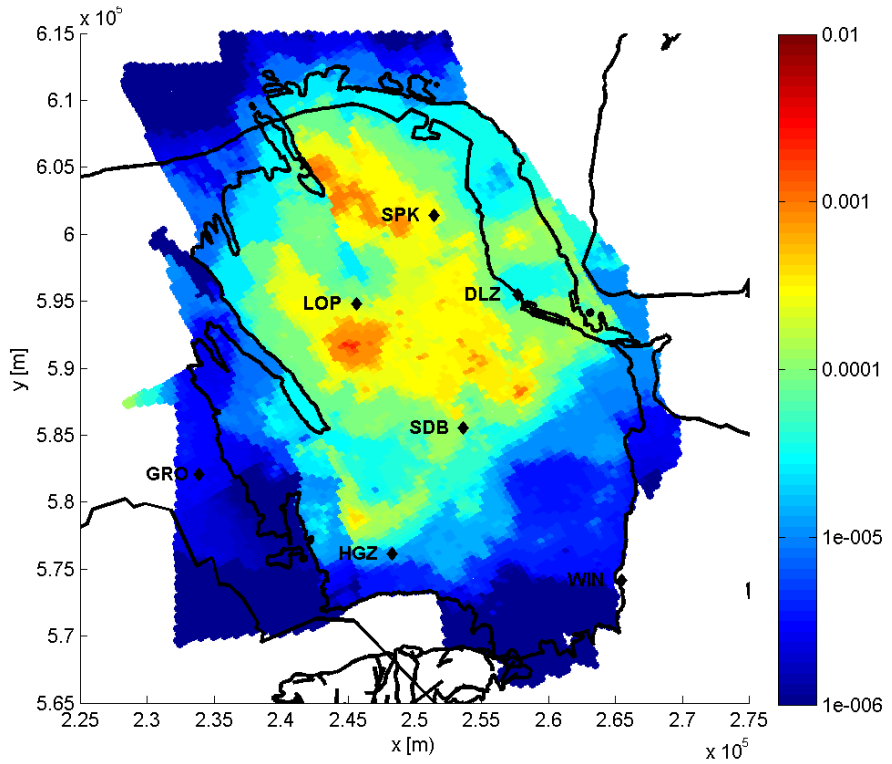
Figuur D-4. Toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario met een 35 miljard Nm³ jaarlijkse productie en het stilleggen van productie in Loppersum (35_0).



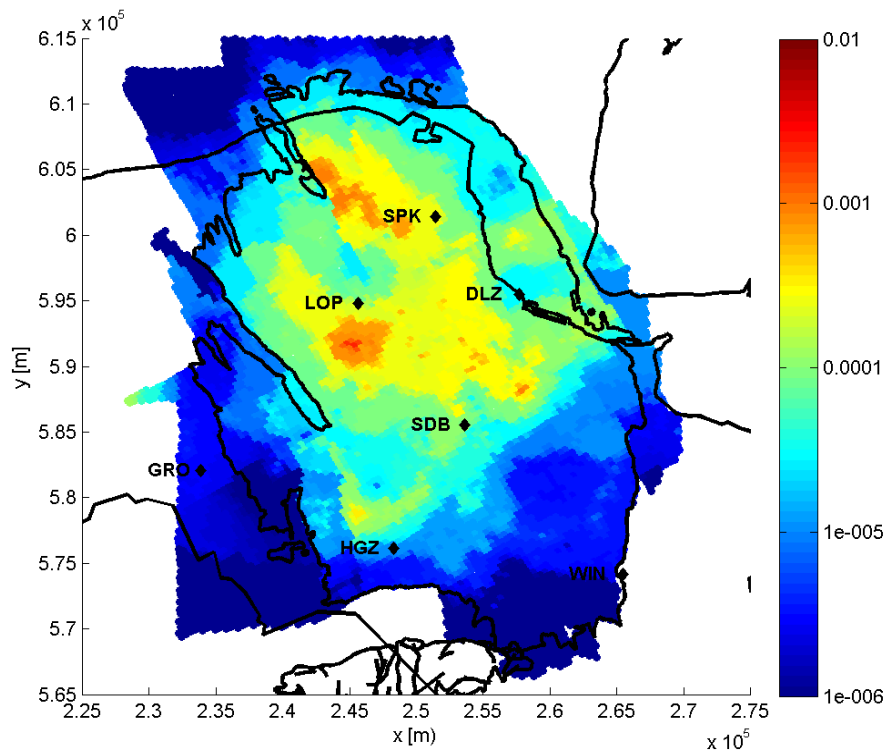
Figuur D-5. Toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario met een 30 miljard Nm³ jaarlijkse productie en het stilleggen van productie in Loppersum (30_0).



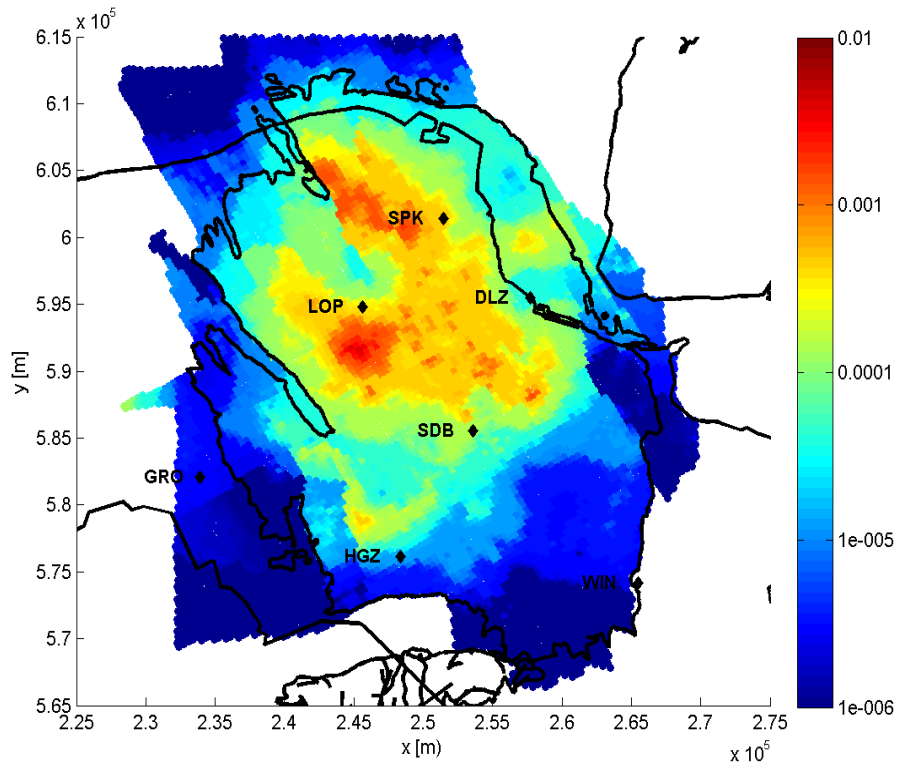
Figuur D-6. Toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario met een 40 miljard Nm³ jaarlijkse productie en het beperkt produceren van de Loppersum clusters (40_3).



Figuur D-7. Toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario met een 35 miljard Nm³ jaarlijkse productie en het beperkt produceren van de Loppersum clusters (35_3).



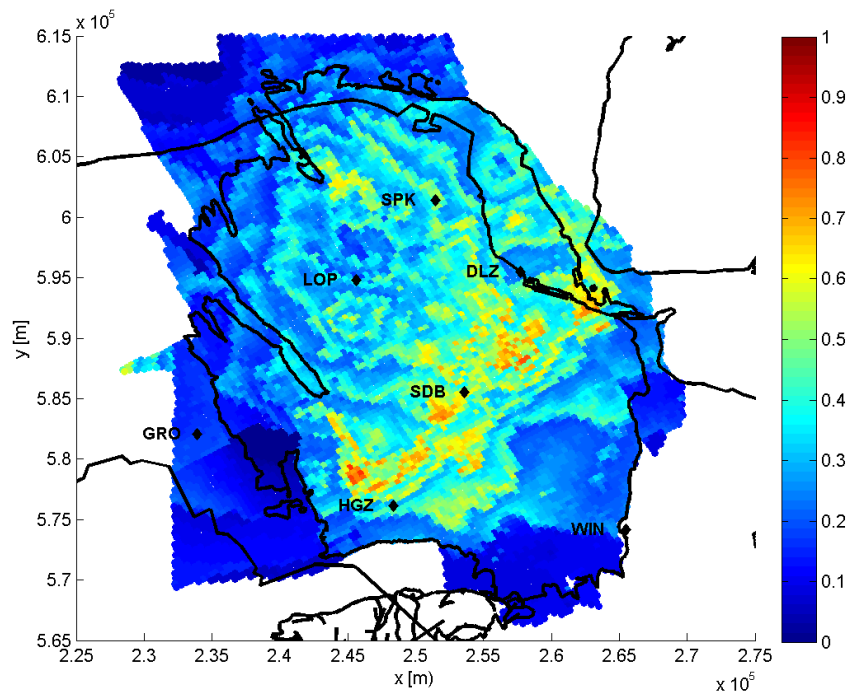
Figuur D-8. Toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario met een 30 miljard Nm³ jaarlijkse productie en het beperkt produceren van de Loppersum clusters (30_3).



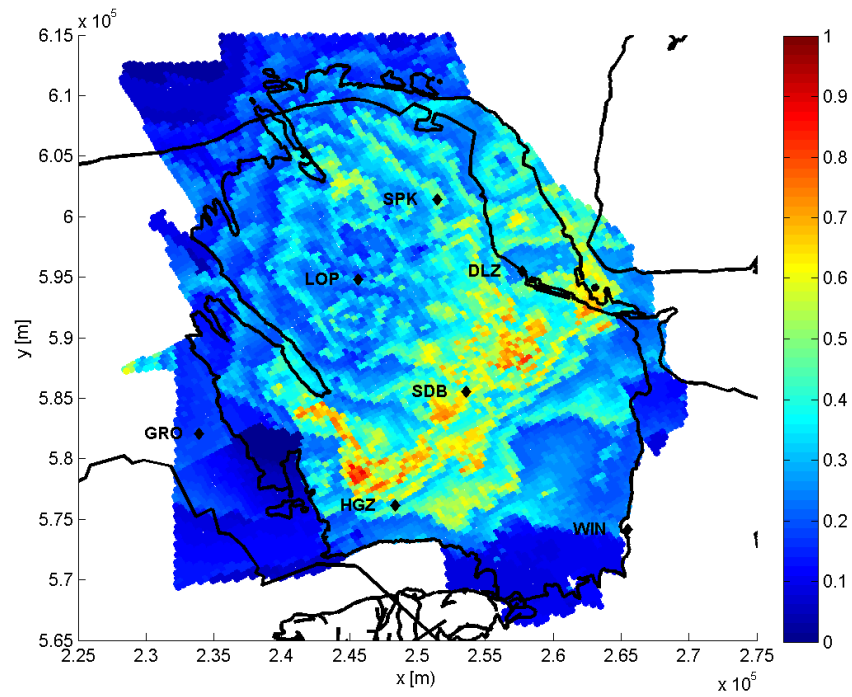
Figuur D-9. Toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario wat de marktvraag volgt..

E. Appendix E: Genormaliseerde toename partiticoëfficiënt 2014 tot en met 2016 voor de productiescenario's

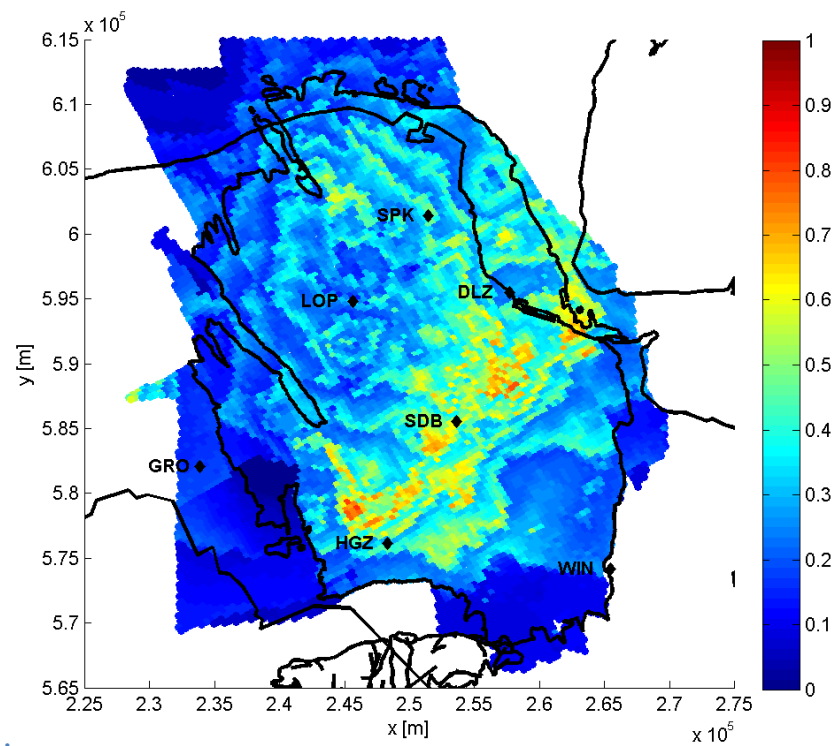
De figuren in deze appendix laten de genormaliseerde toename in de partiticoëfficiënt van januari 2014 tot januari 2017 zien volgens de scenario's in Tabel 3-1. Een waarde van '0' betekent geen verschil, een waarde van '1' betekent dat de partiticoëfficiënt zal verdubbelen in deze periode. Hierbij is de compactie berekend met het RTiCM model en is de exponentiële relatie tussen de compactie en partiticoëfficiënt gebruikt (Figuur 3-4). Daarnaast zijn de contouren van het veld aangegeven, de kustlijn en een aantal steden in het Groningen veld (GRO=Groningen, LOP=Loppersum, SPK=Spijk, SDB=Sidderburen, HGZ=Hoogezand, WIN=Winschoten, DLZ=Delfzijl). De kleurschalen zijn hetzelfde gekozen tussen 0 (geen verschil) en 1 (verdubbeling).



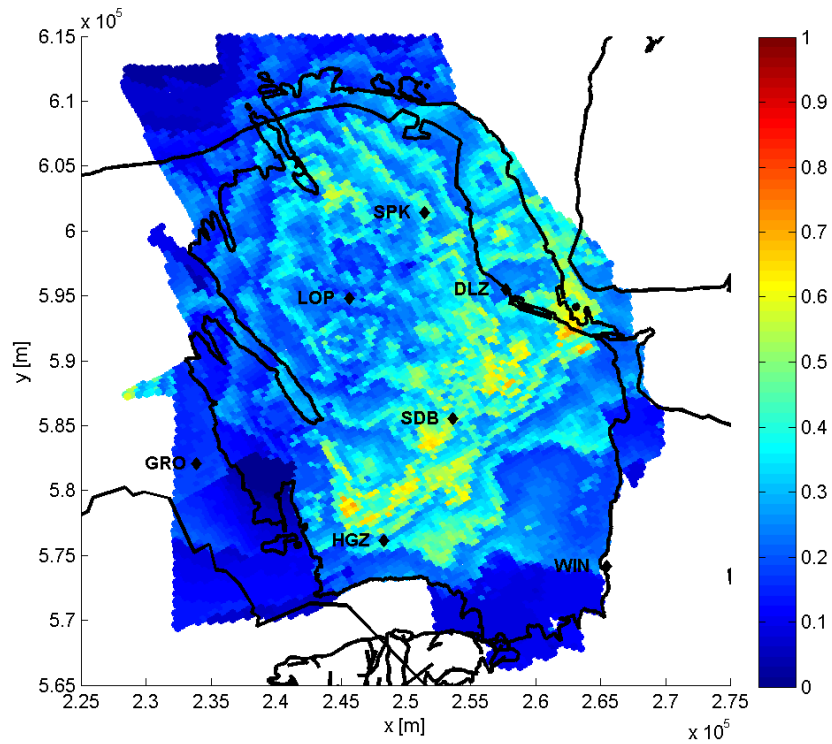
Figuur E-1. Genormaliseerde toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het 42,5_3 scenario.



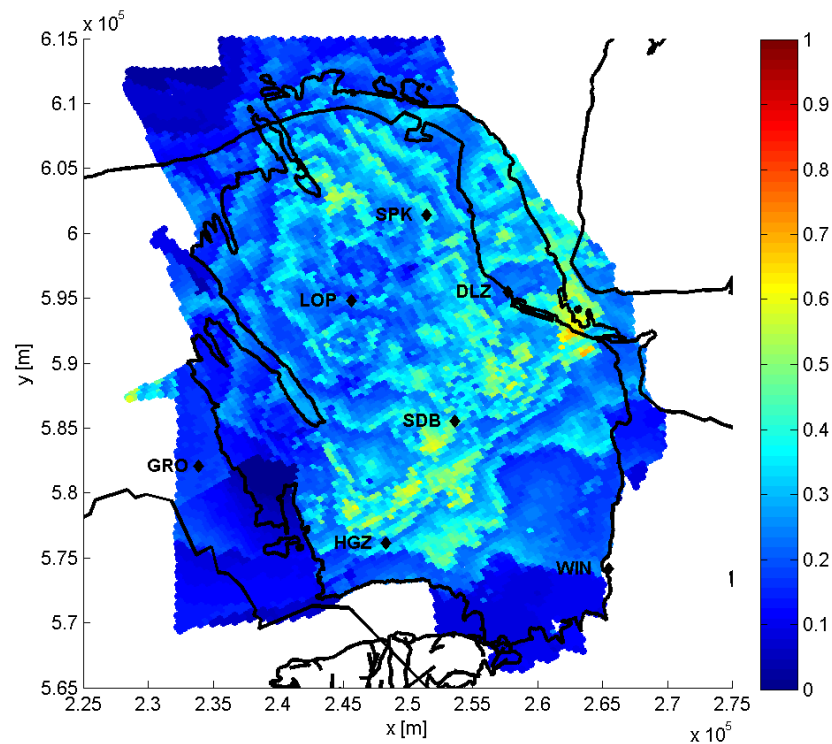
Figuur E-2. Genormaliseerde toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het 42,5_0 scenario.



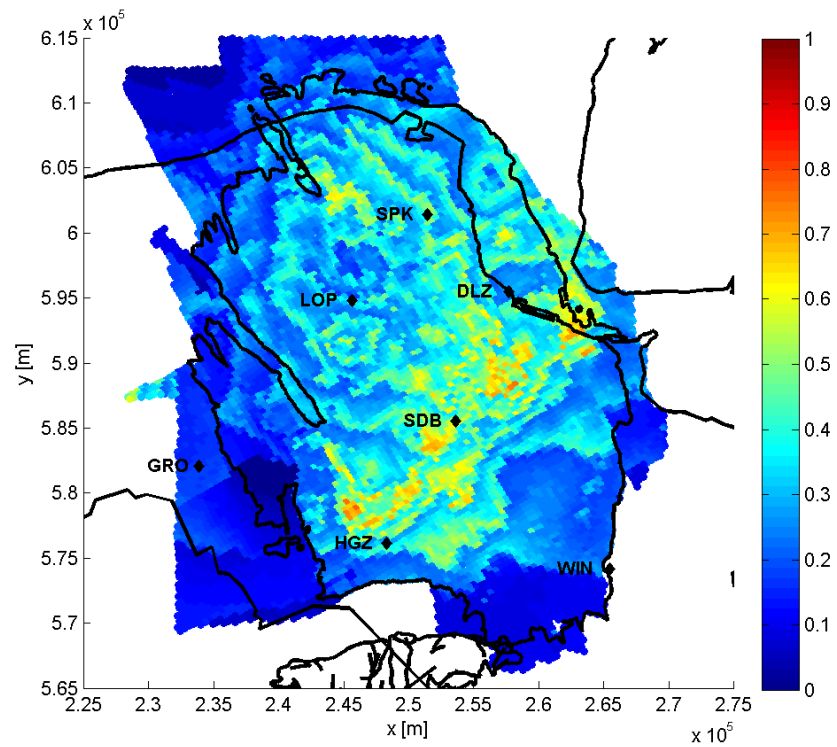
Figuur E-3. Genormaliseerde toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario met een 40 miljard Nm³ jaarlijkse productie en het stilleggen van productie in Loppersum (40_0).



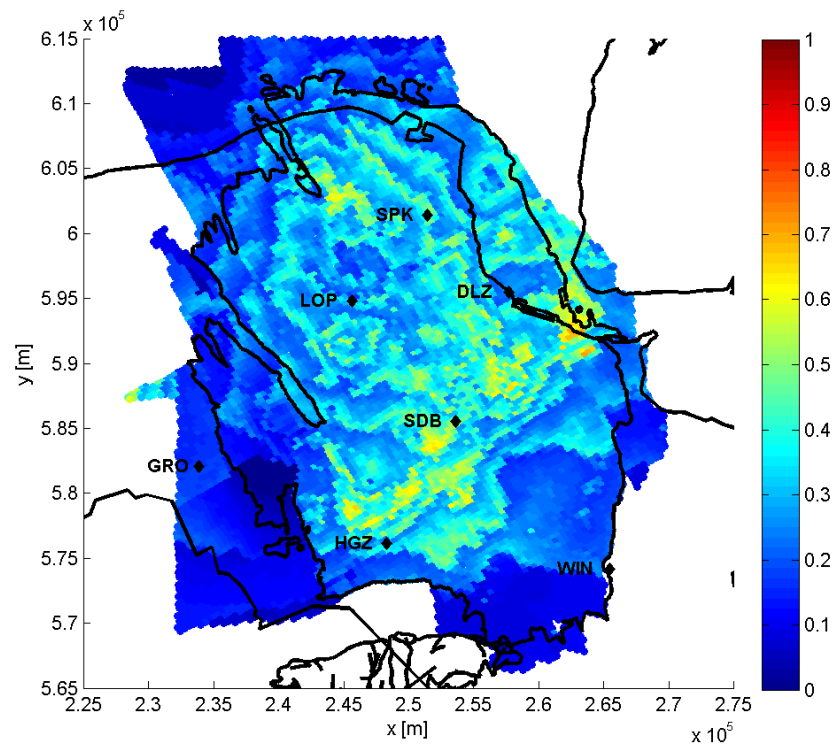
Figuur E-4. Genormaliseerde toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario met een 35 miljard Nm³ jaarlijkse productie en het stilleggen van productie in Loppersum (35_0).



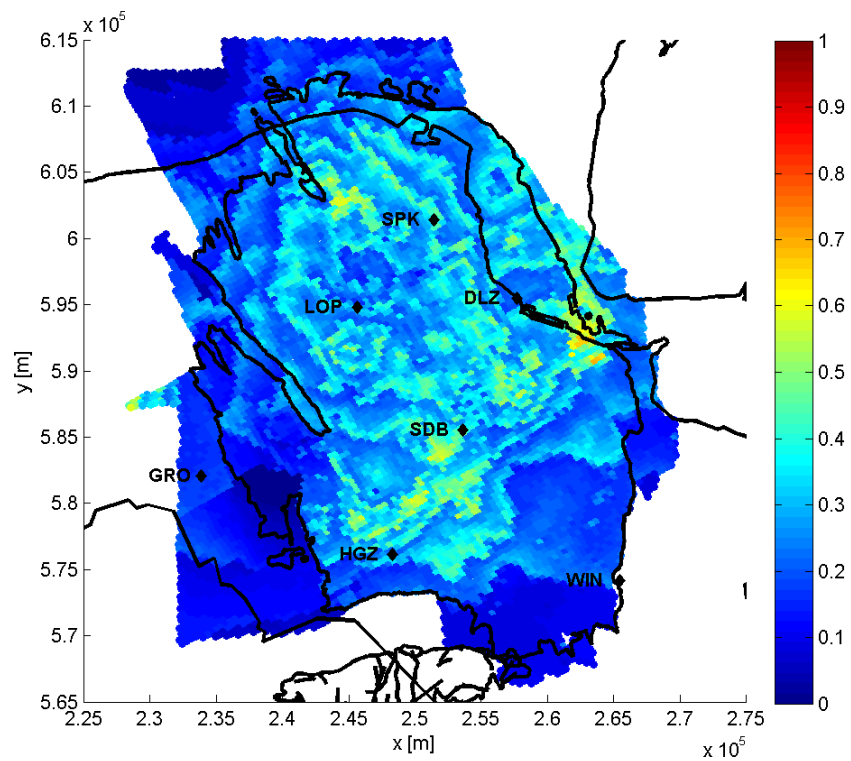
Figuur E-5. Genormaliseerde toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario met een 30 miljard Nm³ jaarlijkse productie en het stilleggen van productie in Loppersum (30_0).



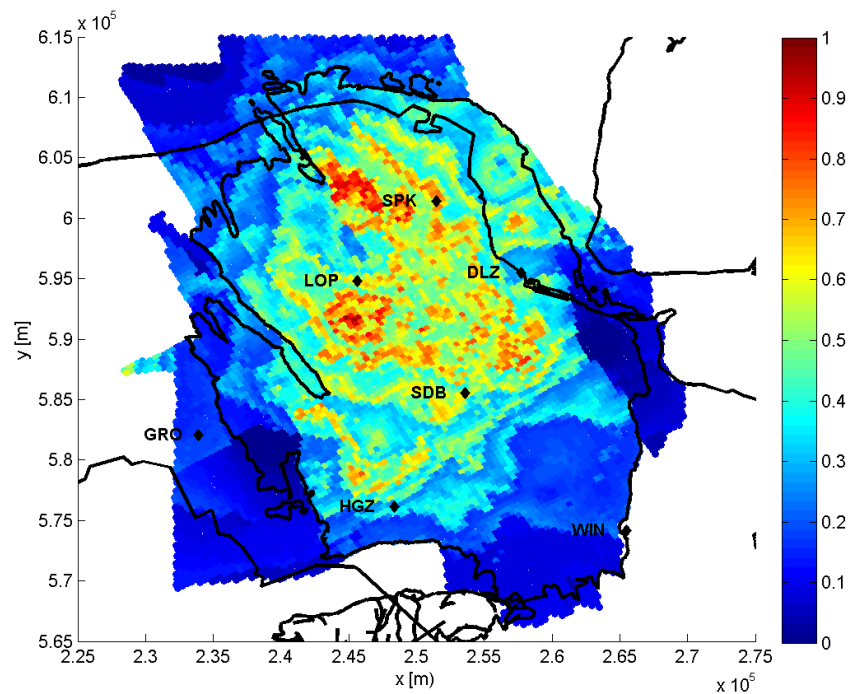
Figuur E-6. Genormaliseerde toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario met een 40 miljard Nm^3 jaarlijkse productie en het beperkt produceren van de Loppersum clusters (40_3).



Figuur E-7. Genormaliseerde toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario met een 35 miljard Nm^3 jaarlijkse productie en het beperkt produceren van de Loppersum clusters (35_3).



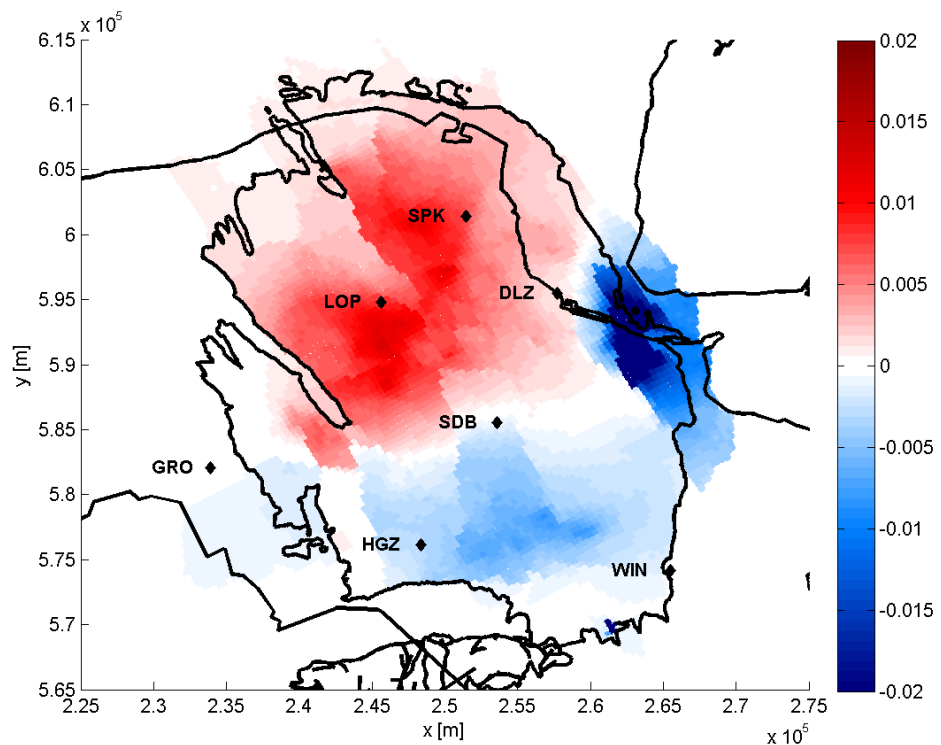
Figuur E-8. Genormaliseerde toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario met een 30 miljard Nm³ jaarlijkse productie en het beperkt produceren van de Loppersum clusters (30_3).



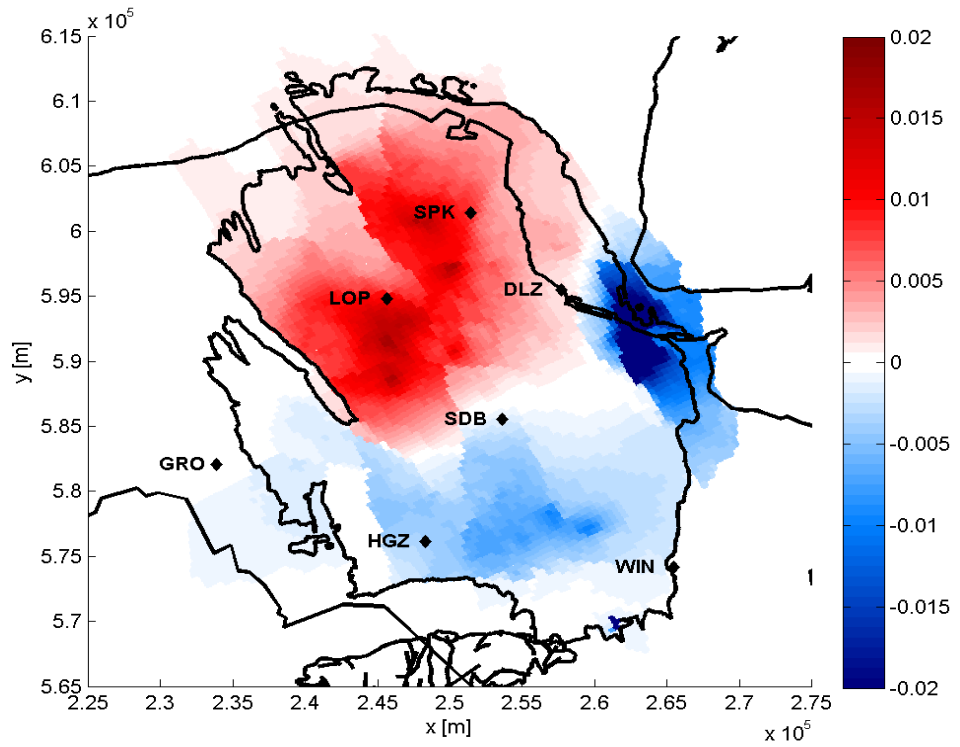
Figuur E-9. Genormaliseerde toename in partiticoëfficiënt tussen januari 2014 en januari 2017 voor het scenario wat de marktvaag volgt.

F. Appendix F: Vergelijking marktvaag scenario

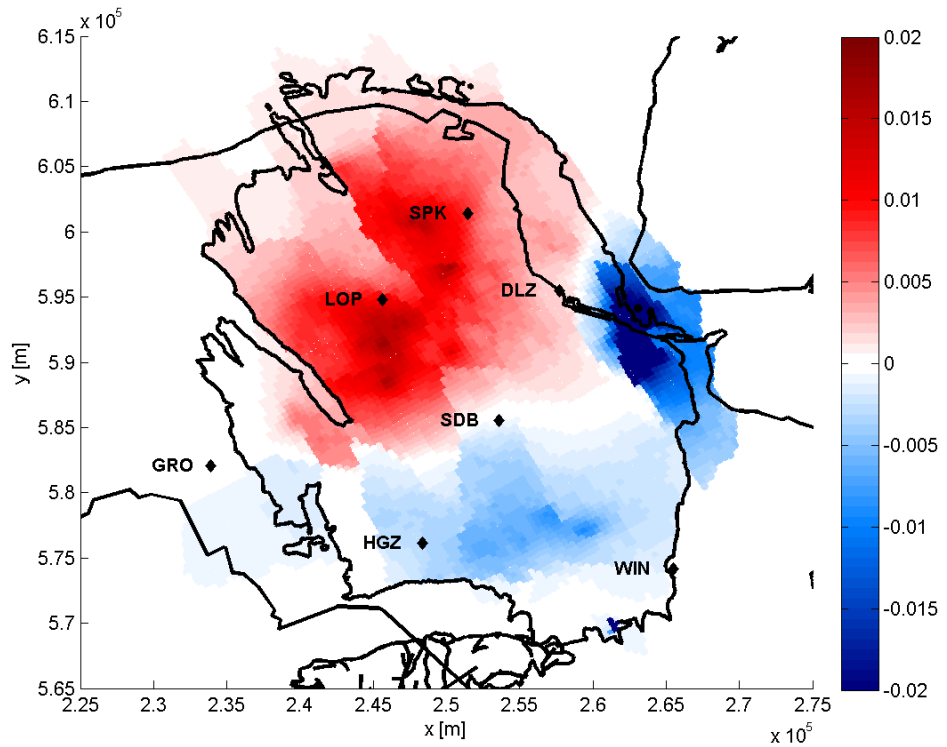
De figuren in deze appendix laten het verschil zien in compactie tussen het scenario wat de marktvaag volgt en de overige scenario's van Tabel 3-1 voor de periode 2014 tot en met 2016. De compactie is berekend volgens het RTiCM model. Daarnaast zijn de contouren van het veld aangegeven, de kustlijn en een aantal steden in het Groningen veld (GRO=Groningen, LOP=Loppersum, SPK=Spijk, SDB=Sidderburen, HGZ=Hoogezand, WIN=Winschoten, DLZ=Delfzijl). De kleurschalen zijn hetzelfde gekozen, met als limiet ± 2 cm. Een positief (rood) verschil geeft aan dat het marktvaag scenario op deze locatie meer compactie heeft, een negatief (blauw) verschil geeft aan dat het marktvaag scenario op deze locatie minder compactie heeft. Het negatieve (blauwe) verschil rond $x=264000$, $y=592000$ is een artefact van het meenemen van waterinjectie in het marktvaag scenario waardoor de druk op niveau wordt gehouden en het niet meenemen van waterinjectie voor de andere modellen. Het negatieve (blauwe) verschil rond $x=261000$, $y=570000$ is een artefact van het meenemen van put OPK-4A in alle nieuwe scenario's met het reservoir model wat op 29 januari 2014 is binnengekomen. Deze put is niet meegenomen in het reservoir model waarmee het marktvaag scenario is berekend (TNO, 2013).



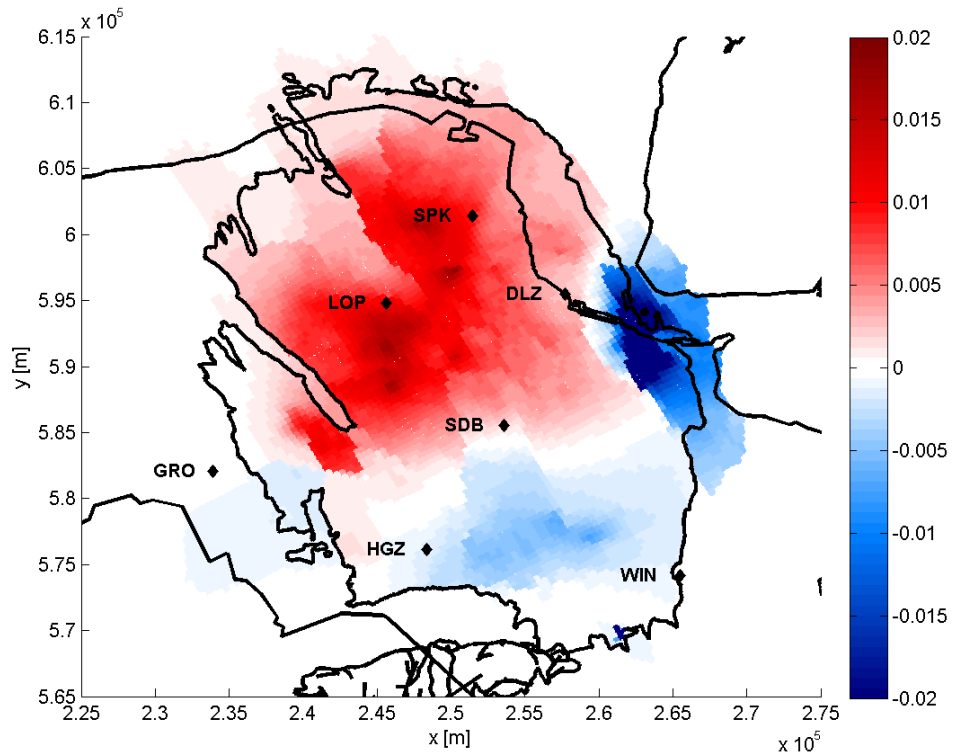
Figuur F-1. Verschil in compactie in (m) tussen met scenario wat de marktvaag volgt en het 42,5_3 scenario.



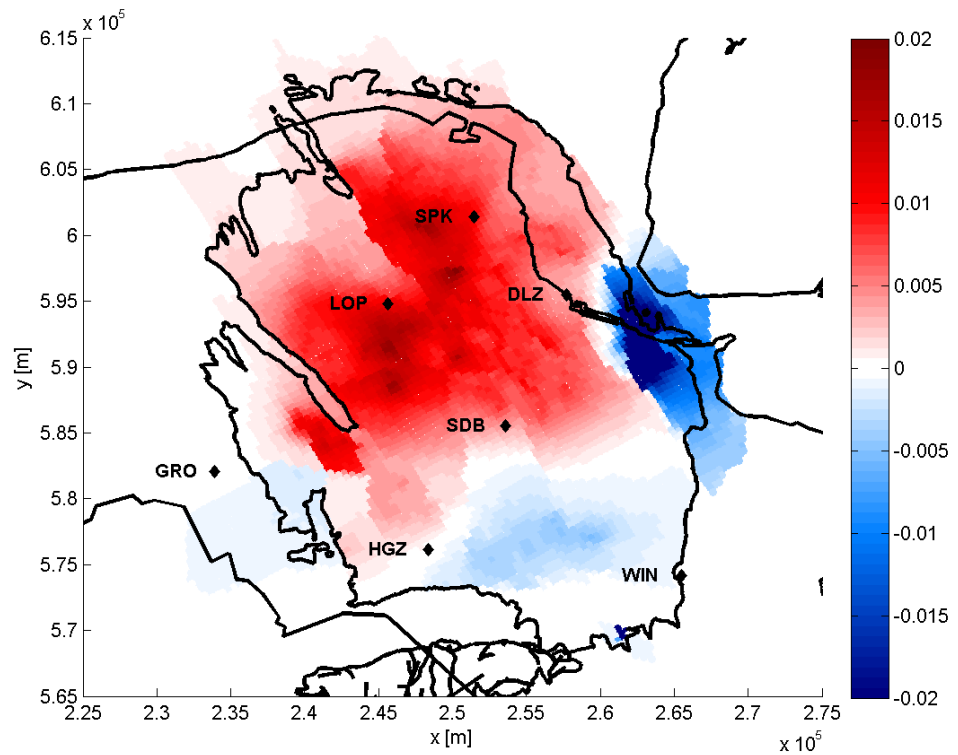
Figuur F-2. Verschil in compactie in (m) tussen met scenario wat de markt vraag volgt en het 42,5_0 scenario.



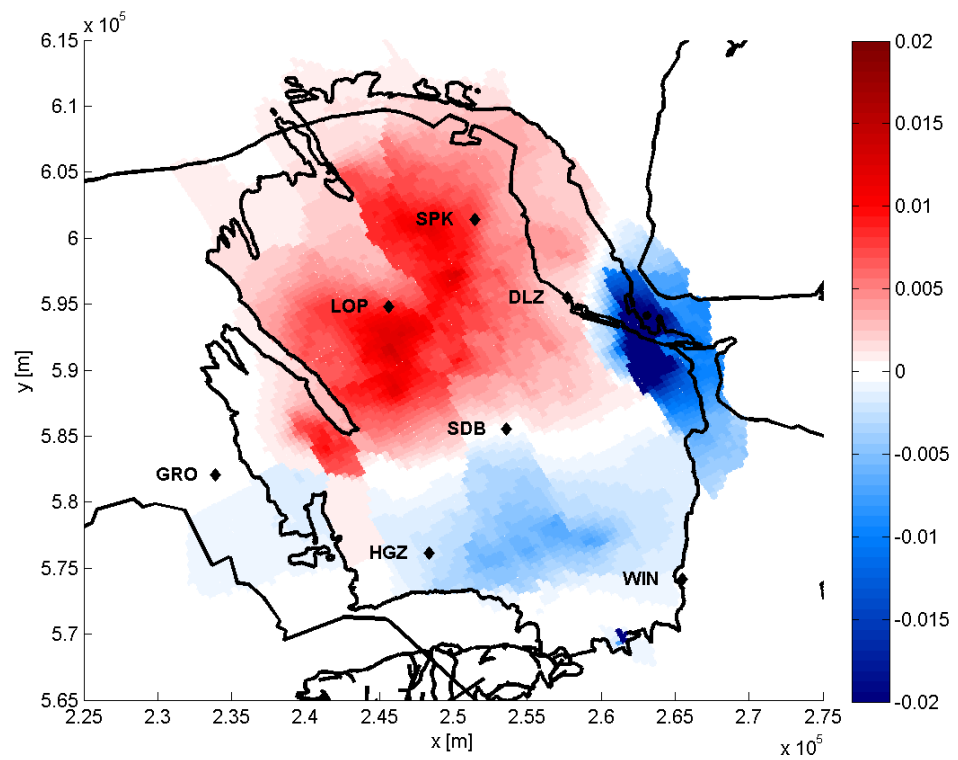
Figuur F-3. Verschil in compactie in (m) tussen met scenario wat de markt vraag volgt en het scenario met een 40 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters volledig zijn stilgelegd (40_0).



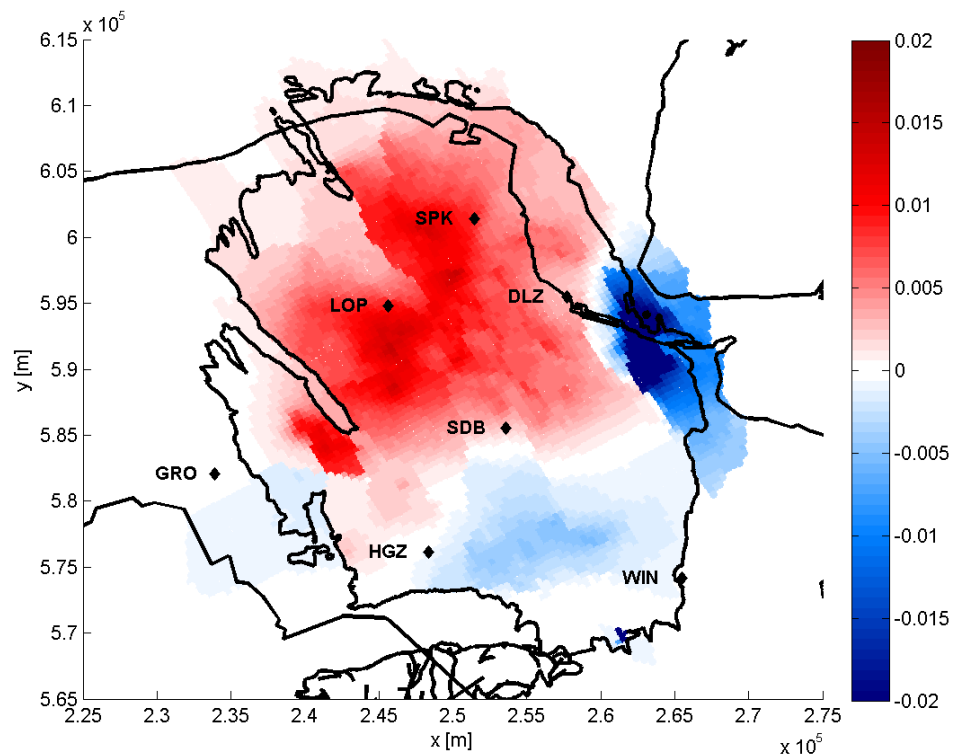
Figuur F-4. Verschil in compactie in (m) tussen met scenario wat de markt vraag volgt en het scenario met een 35 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters volledig zijn stilgelegd (35_0).



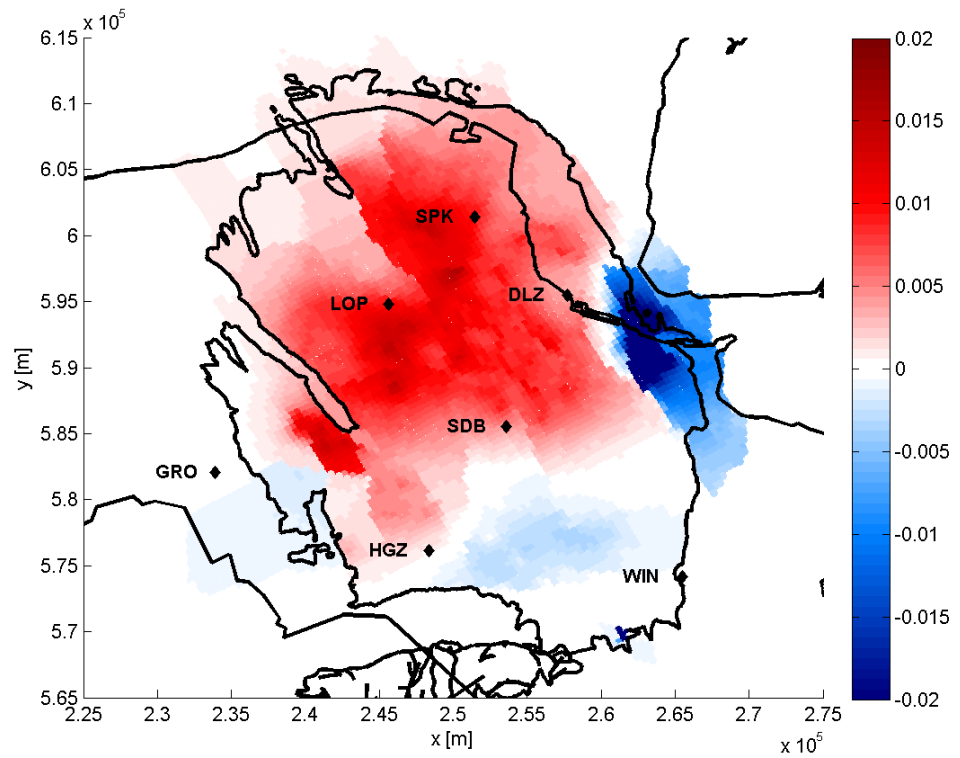
Figuur F-5. Verschil in compactie in (m) tussen met scenario wat de markt vraag volgt en het scenario met een 30 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters volledig zijn stilgelegd (30_0).



Figuur F-6. Verschil in compactie in (m) tussen met scenario wat de markt vraagt en het scenario met een 40 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters beperkt zijn stilgelegd (40_3).



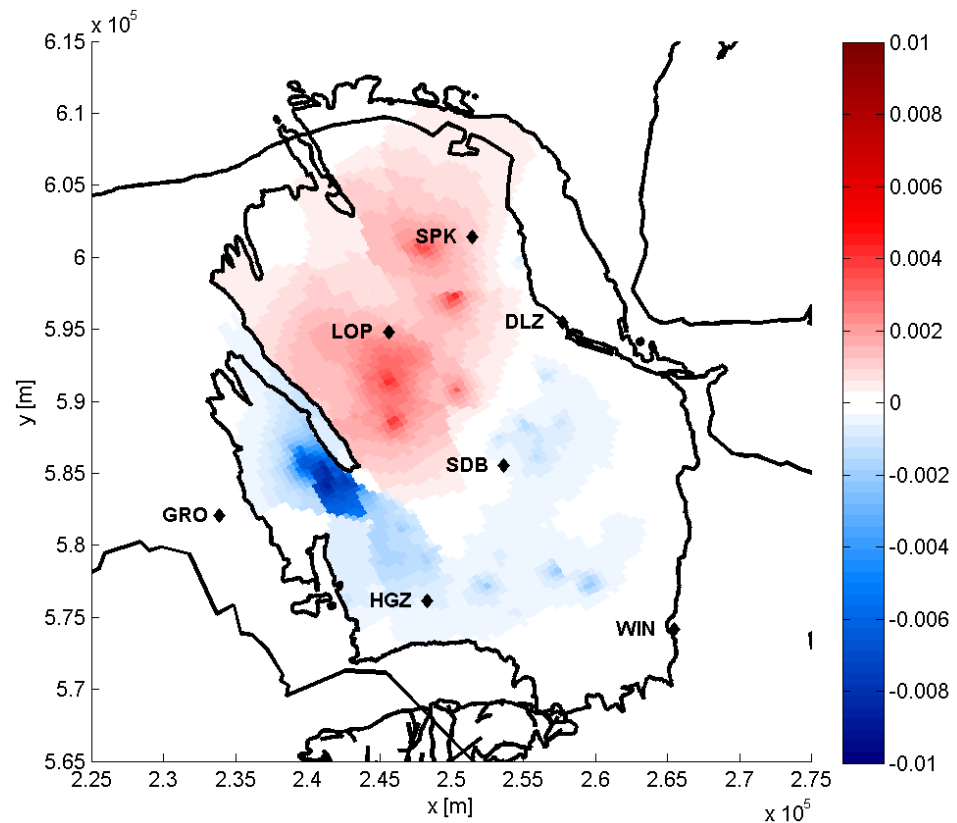
Figuur F-7. Verschil in compactie in (m) tussen met scenario wat de markt vraagt en het scenario met een 35 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters beperkt zijn stilgelegd (35_3).



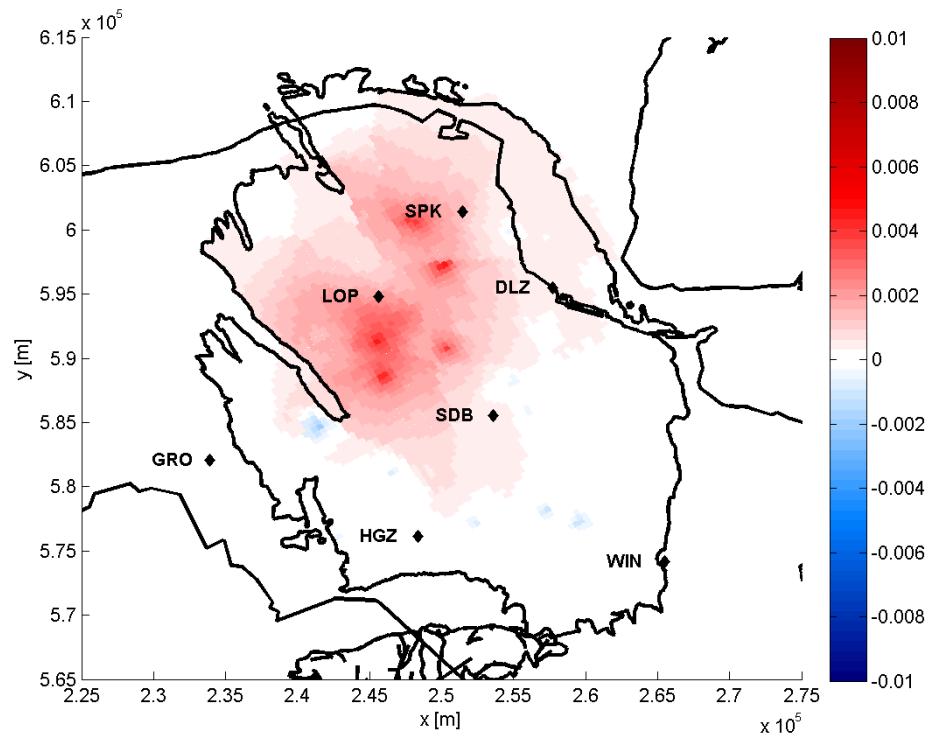
Figuur F-8. Verskil in compactie in (m) tussen met scenario wat de marktvraag volgt en het scenario met een 30 miljard Nm^3 productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters beperkt zijn stilgelegd (30_3).

G. Appendix G: Vergelijking 42,5_3 scenario

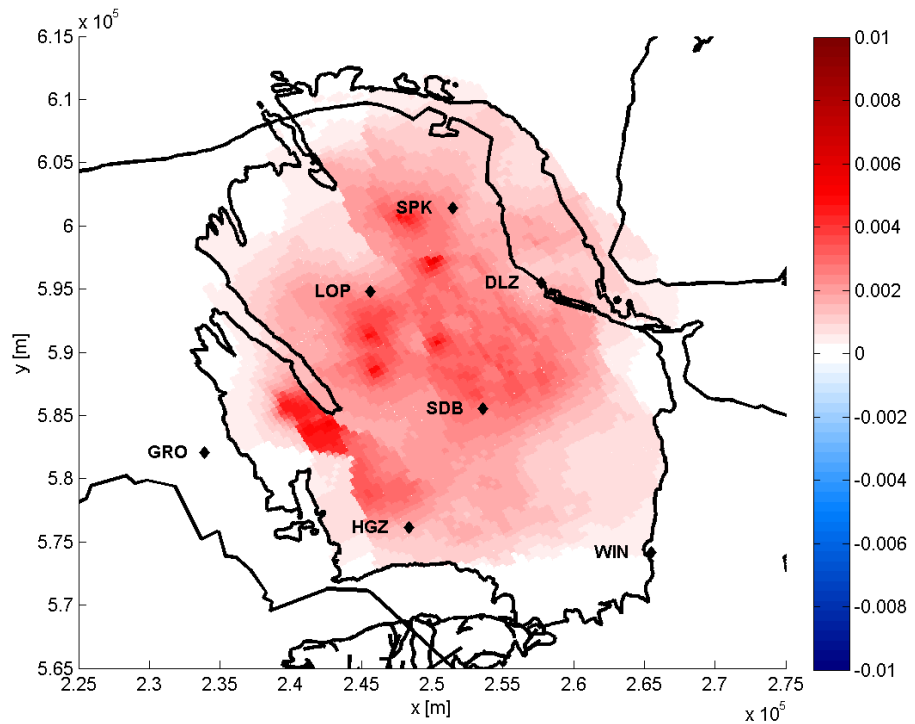
De figuren in deze appendix laten het verschil zien in compactie tussen het kabinetsbesluit scenario (42,5_3) en de overige scenario's van Tabel 3-1 voor de periode 2014 tot en met 2016. De compactie is berekend volgens het RTiCM model. Daarnaast zijn de contouren van het veld aangegeven, de kustlijn en een aantal steden in het Groningen veld (GRO=Groningen, LOP=Loppersum, SPK=Spijk, SDB=Sidderburen, HGZ=Hoogezand, WIN=Winschoten, DLZ=Delfzijl). De kleurschalen zijn hetzelfde gekozen, met als limiet ± 1 cm. Een positief (rood) verschil geeft aan dat het 42,5_3 scenario op deze locatie meer compactie heeft, een negatief (blauw) verschil geeft aan dat het 42,5_3 scenario op deze locatie minder compactie heeft. Voor de vergelijking met het marktvaag scenario (Figuur G-8) geldt dat het positieve (rode) verschil rond $x=264000$, $y=592000$ een artefact is van het meenemen van waterinjectie in het marktvaag scenario waardoor de druk op niveau wordt gehouden en het niet meenemen van waterinjectie voor het 42,5_3 scenario. Het positieve (rode) verschil rond $x=261000$, $y=570000$ is een artefact van het meenemen van put OPK-4A in scenario 42,5_3 met het reservoir model wat op 29 januari 2014 is binnengekomen. Deze put is niet meegenomen in het reservoir model waarmee het marktvaag scenario is berekend (TNO, 2013).



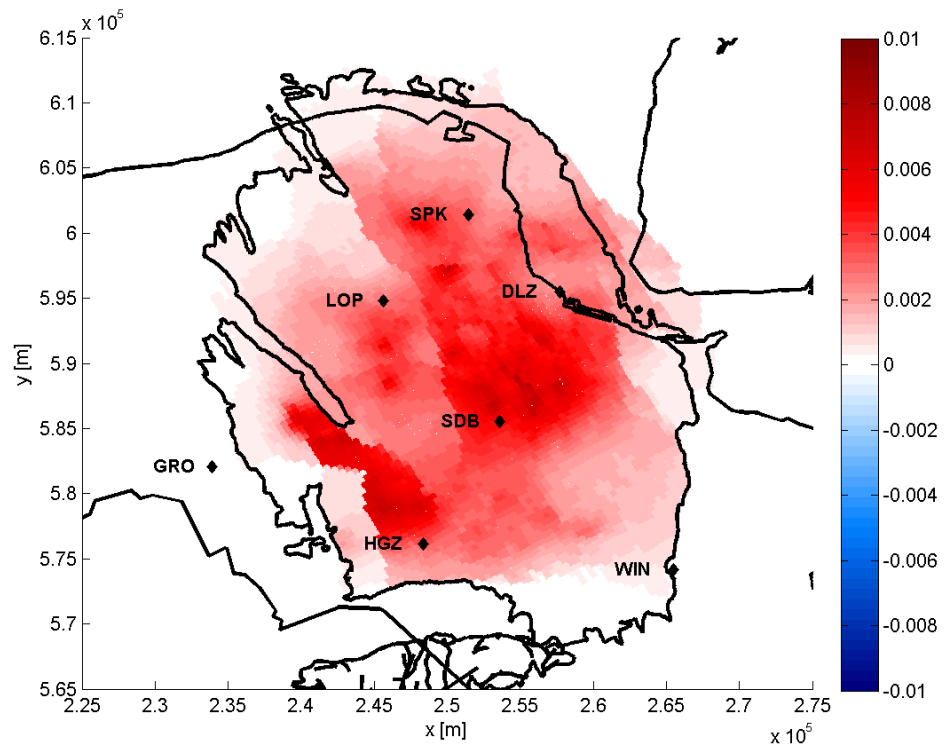
Figuur G-1. Verschil in compactie in (m) tussen het 42,5_3 scenario en het 42,5_0 scenario.



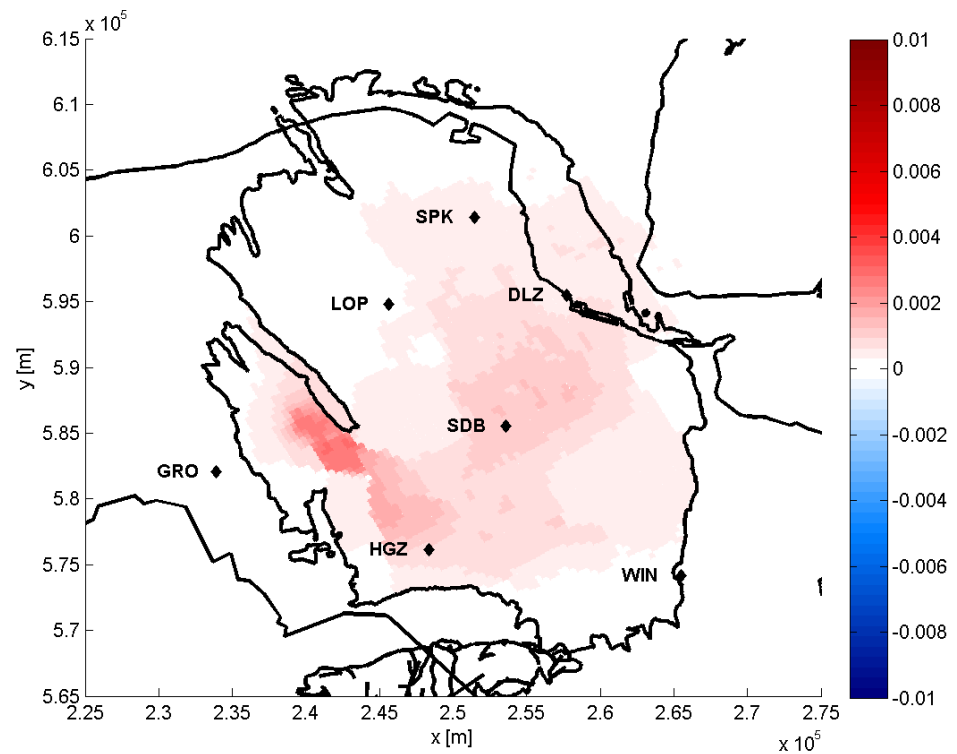
Figuur G-2. Verschil in compactie in (m) tussen het 42,5_3 scenario en het scenario met een 40 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters volledig zijn stilgelegd (40_0).



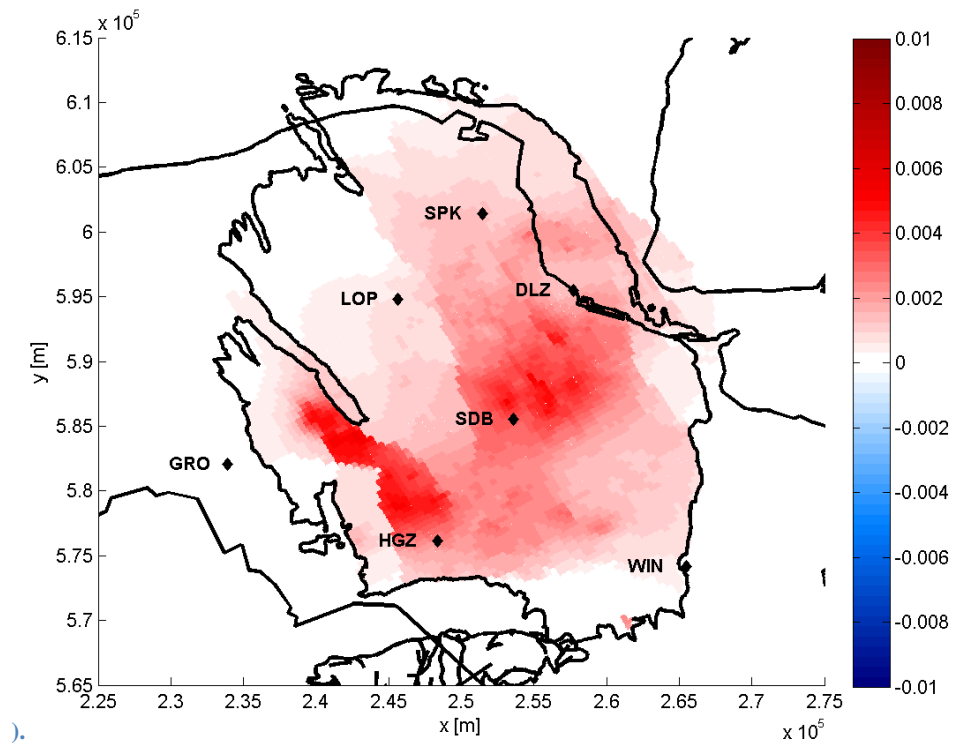
Figuur G-3. Verschil in compactie in (m) tussen het 42,5_3 scenario en het scenario met een 35 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters volledig zijn stilgelegd (35_0).



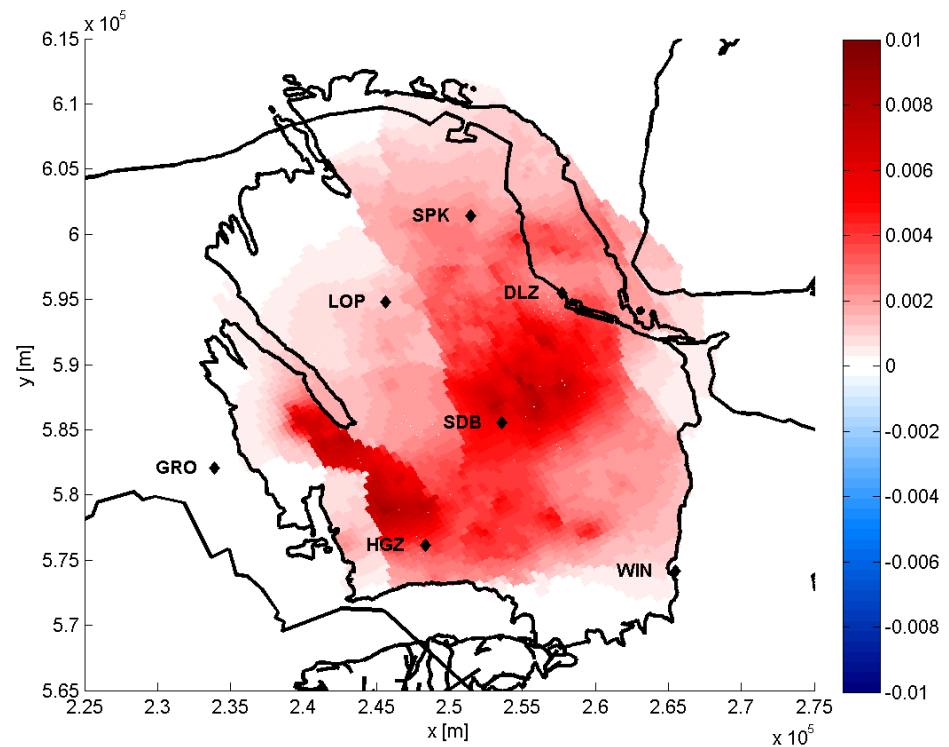
Figuur G-4. Verschil in compactie in (m) tussen het 42,5_3 scenario en het scenario met een 30 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters volledig zijn stilgelegd (30_0).



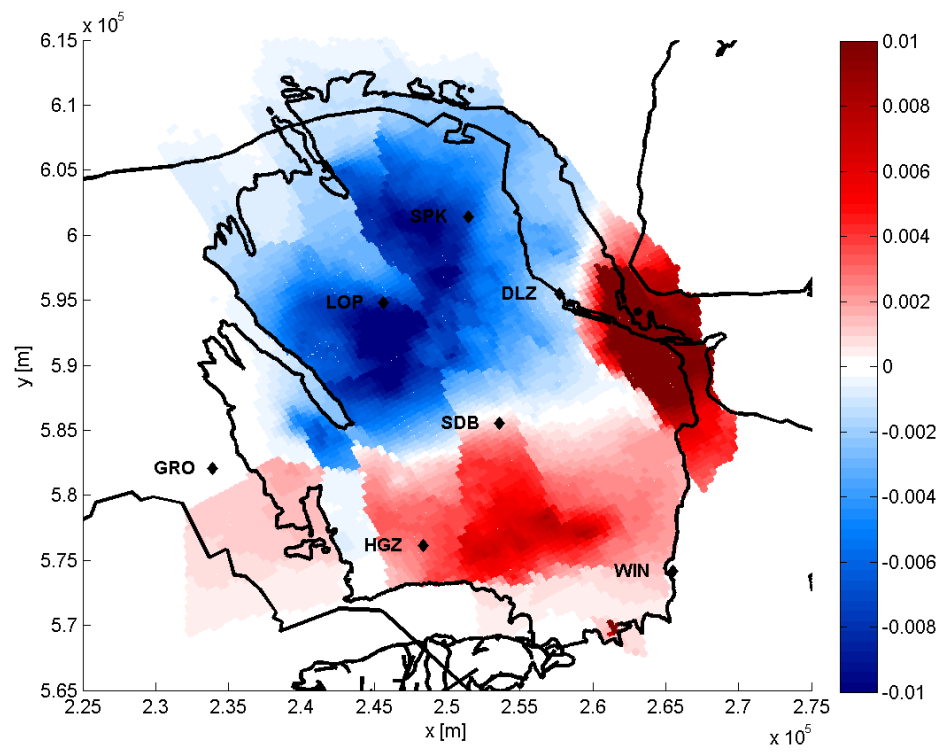
Figuur G-5. Verschil in compactie in (m) tussen het 42,5_3 scenario en het scenario met een 40 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters beperkt zijn stilgelegd (40_3).



Figuur G-6. Verschil in compactie in (m) tussen het 42,5_3 scenario en het scenario met een 35 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters beperkt zijn stilgelegd (35_3).



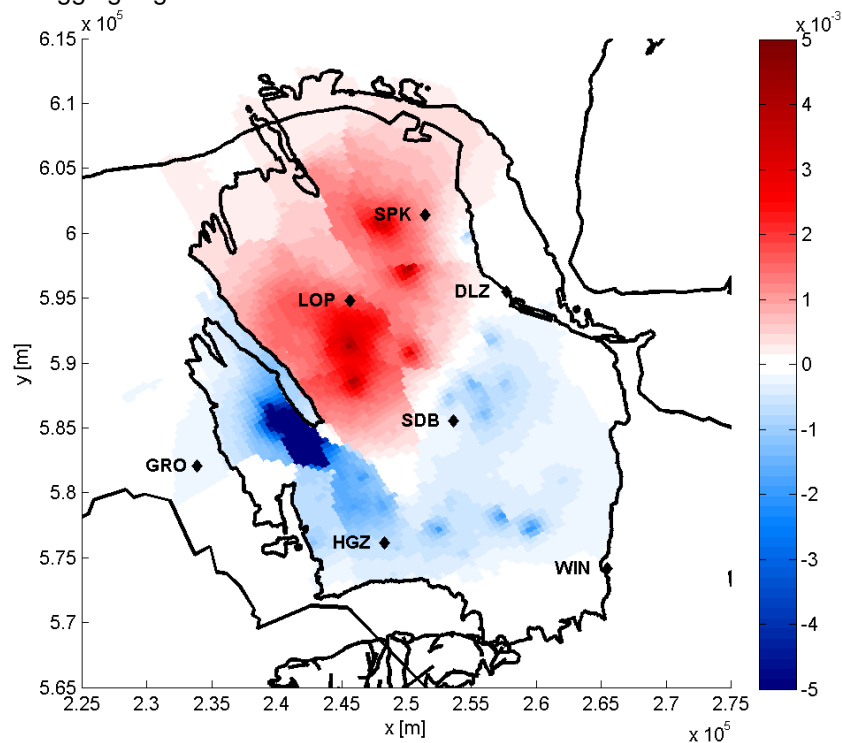
Figuur G-7. Verschil in compactie in (m) tussen het 42,5_3 scenario en het scenario met een 30 miljard Nm³ productie per jaar scenario waarbij de vijf Loppersum clusters beperkt zijn stilgelegd (30_3).



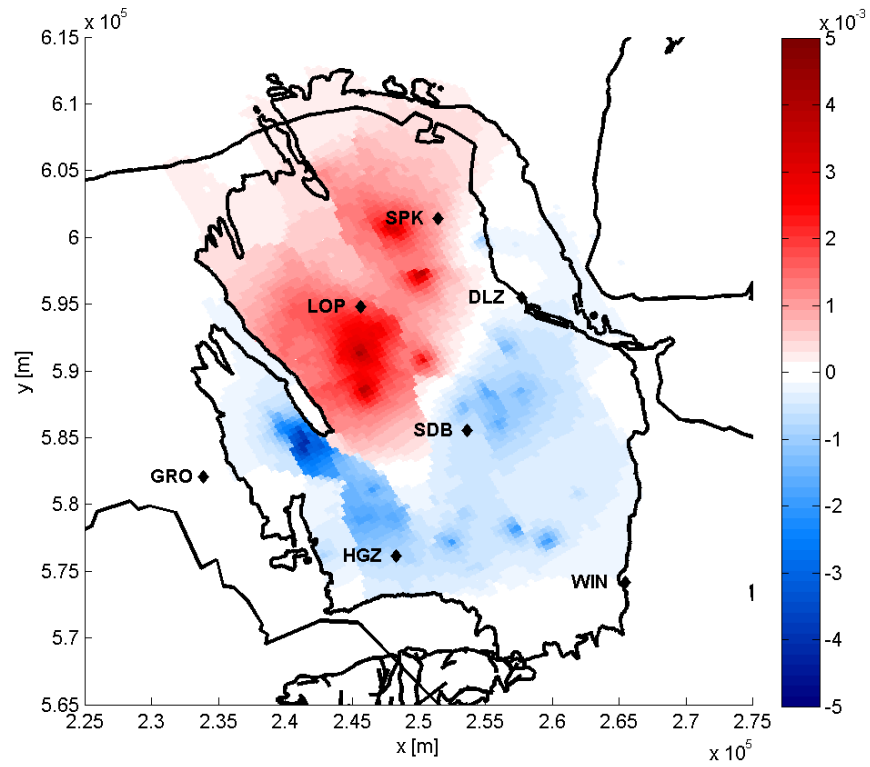
Figuur G-8. Verschil in compactie in (m) tussen het 42,5_3 scenario en het scenario wat de markt vraagt volgt.

H. Appendix H: Vergelijking beperkt met volledige productiebeperking Loppersum

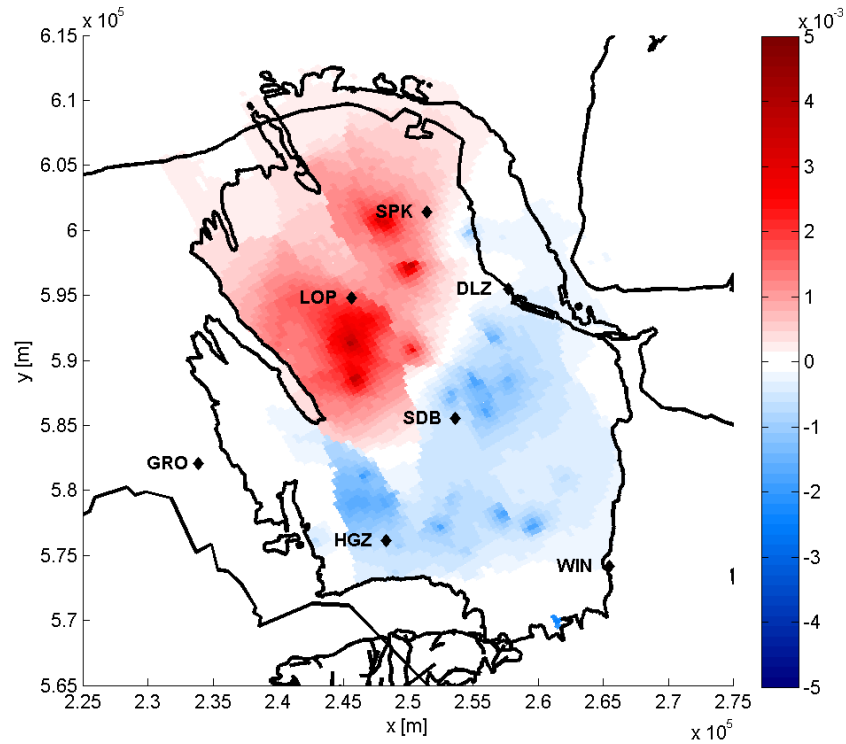
De figuren in deze appendix laten het verschil zien in compactie, voor de periode 2014 tot en met 2016, tussen de scenario's die een beperkte productie in Loppersum toestaan (3 miljard Nm³ per jaar) en de scenario's die bij een zelfde totale productie geen productie in de vijf Loppersum cluster toelaten. De compactie is berekend volgens het RTiCM model. Daarnaast zijn de contouren van het veld aangegeven, de kustlijn en een aantal steden in het Groningen veld (GRO=Groningen, LOP=Loppersum, SPK=Spijk, SDB=Sidderburen, HGZ=Hoogezand, WIN=Winschoten, DLZ=Delfzijl). De kleurschalen zijn hetzelfde gekozen, met als limiet ±5 mm. Een positief (rood) verschil geeft aan dat het scenario waarbij beperkte productie plaatsvindt in de vijf cluster in het Loppersum gebied op deze locatie meer compactie heeft dan het scenario waarbij de productie volledig wordt stilgelegd. Een negatief (blauw) verschil geeft aan dat het scenario waarbij beperkte productie plaatsvindt in de vijf cluster in het Loppersum gebied op deze locatie minder compactie heeft. Aangezien aan beide scenario's een zelfde totale productie voor de jaren 2014 tot en met 2016 is opgelegd moet het scenario waarbij de Loppersum cluster volledig worden stilgelegd meer productie uit de rest van het veld halen (3 miljard Nm³ per jaar). In dit reservoir model wordt voor het scenario 42,5_0 deze extra productie voor een groot deel uit de Eemskanaal clusters gehaald waardoor hier extra compactie plaatsvindt in dit model. Er zou ook gekozen kunnen worden om de benodigde 3 miljard Nm³ per jaar die niet uit Loppersum kan worden gehaald bij volledige stillegging ergens anders uit het veld te halen.



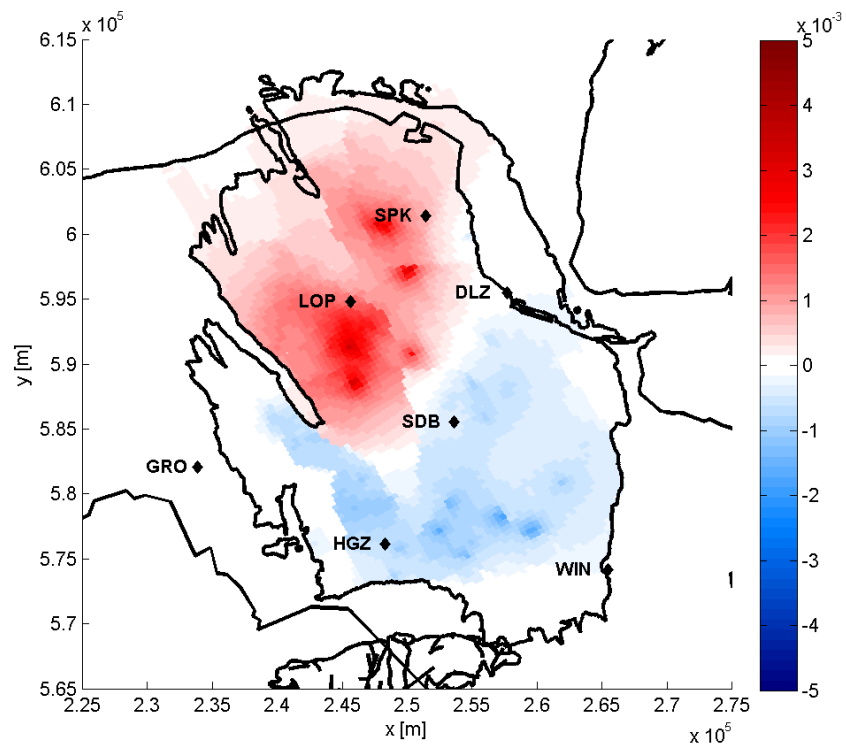
Figuur H-1. Verschil in compactie in (m) tussen het 42,5_3 scenario en het 42,5_0 scenario.



Figuur H-2. Verschil in compactie in (m) tussen het 40_3 scenario en het 40_0.



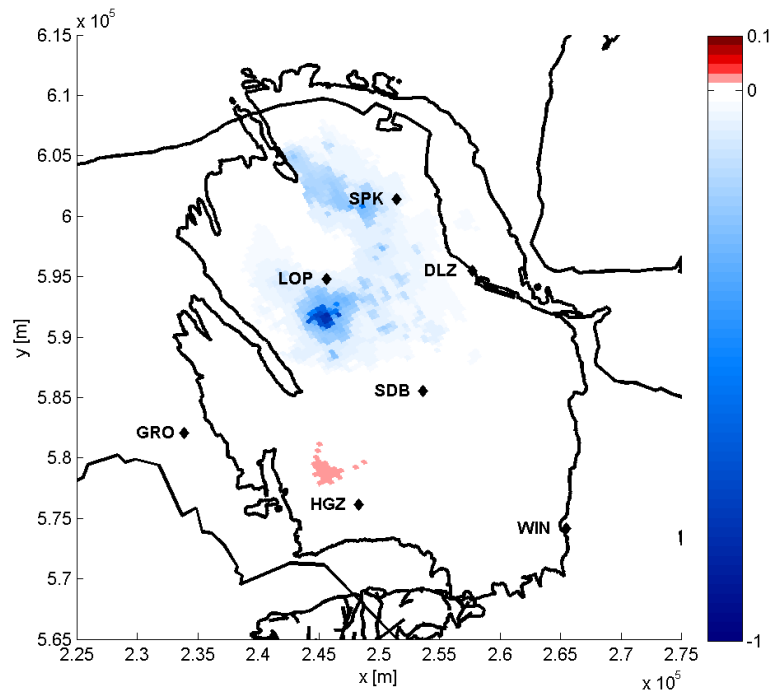
Figuur H-3. Verschil in compactie in (m) tussen het 35_3 scenario en het 35_0 scenario.



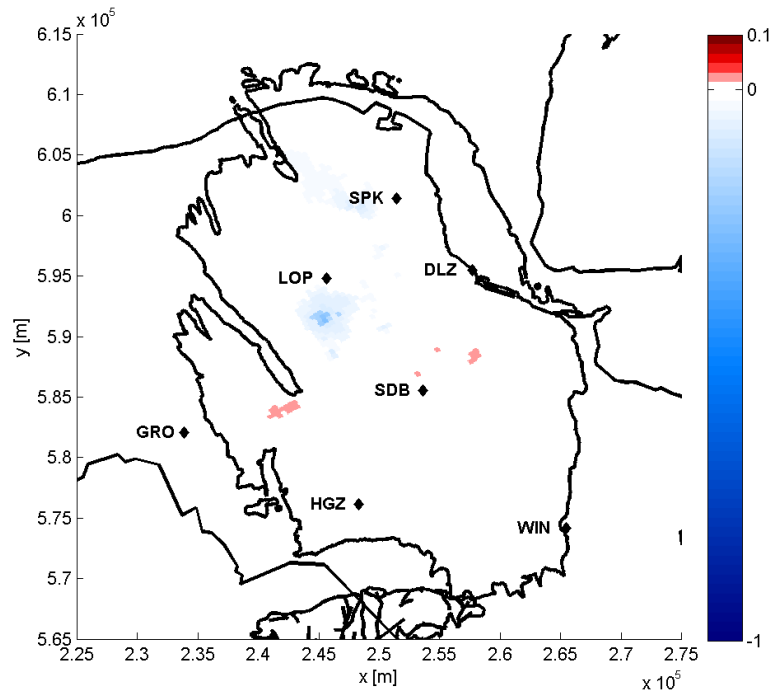
Figuur H-4. Verschil in compactie in (m) tussen het 30_3 scenario en het 30_0.

I. Appendix I: Vergelijking beperkt met volledige productiebeperking Loppersum

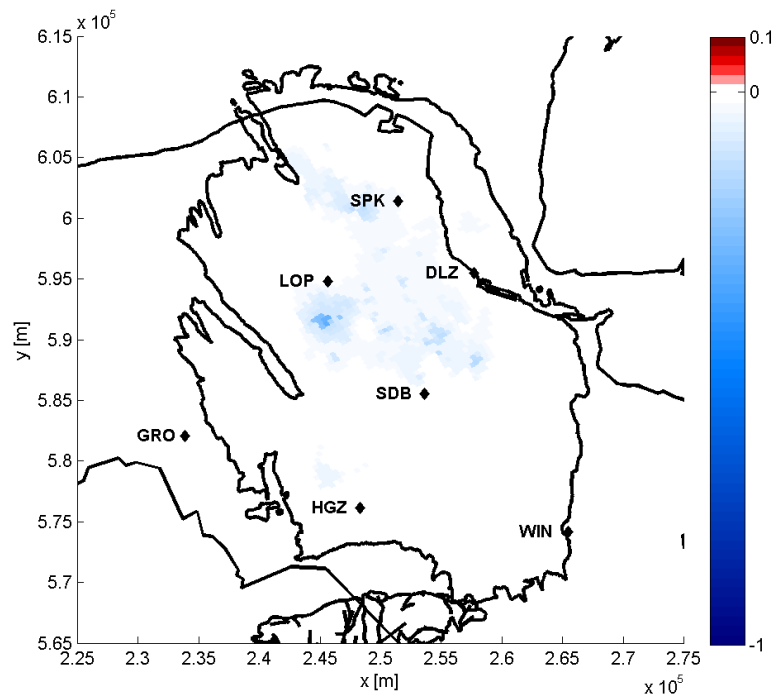
De figuren in deze appendix laten het verschil zien in de toename van het product tussen compactie en partiticoëfficiënt voor de periode 2014 tot en met 2016 als een maat voor de relatieve seismische dreiging tussen twee productiescenario's. De compactie is berekend volgens het RTiCM model, de partiticoëfficiënt is berekend volgens de exponentiële relatie met de compactie (Figuur 3-4). Daarnaast zijn de contouren van het veld aangegeven, de kustlijn en een aantal steden in het Groningenveld (GRO=Groningen, LOP=Loppersum, SPK=Spijk, SDB=Sidderburen, HGZ=Hoogezand, WIN=Winschoten, DLZ=Delfzijl). De kleurschalen zijn hetzelfde gekozen, genormaliseerd op het grootste verschil, namelijk die tussen het scenario wat de markt vraagt en het kabinetsbesluit scenario. Een positief (rood) verschil geeft aan dat het eerste genoemde scenario een groter seismische dreiging heeft dan het tweede genoemde scenario. Een negatief (blauw) verschil geeft aan dat het eerste genoemde scenario een lagere seismische dreiging heeft dan het tweede genoemde scenario.



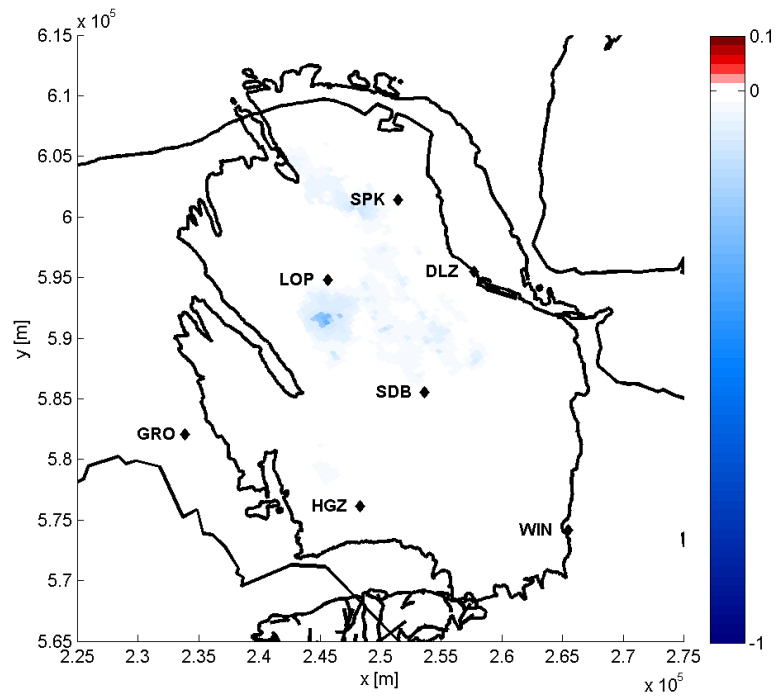
Figuur I-1. Verschil in relatieve seismische dreiging tussen het kabinetsbesluit scenario en het scenario wat de markt vraagt.



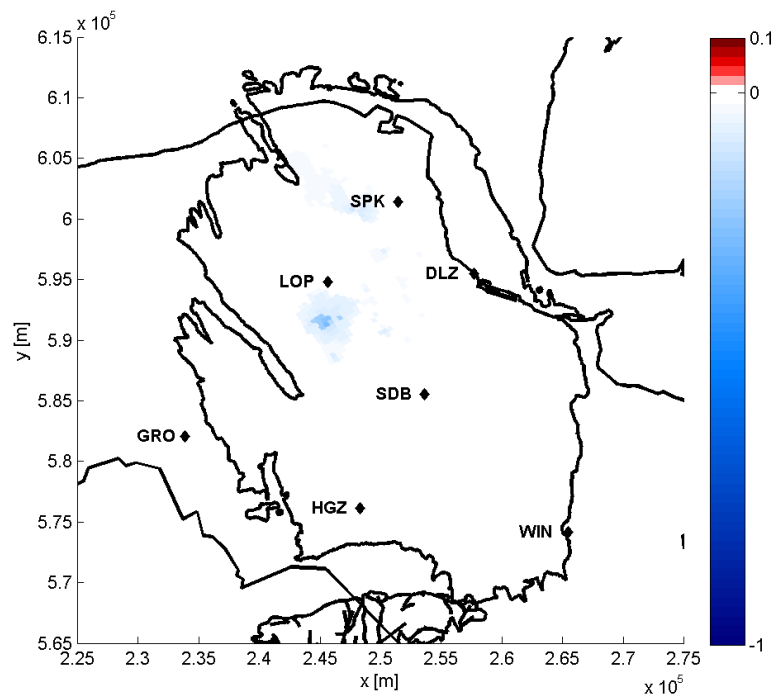
Figuur I-2. Verschil in relatieve seismische dreiging tussen het volledig en beperkt insluiten van de vijf Loppersum clusters binnen de randvoorwaarden van het kabinetsbesluit.



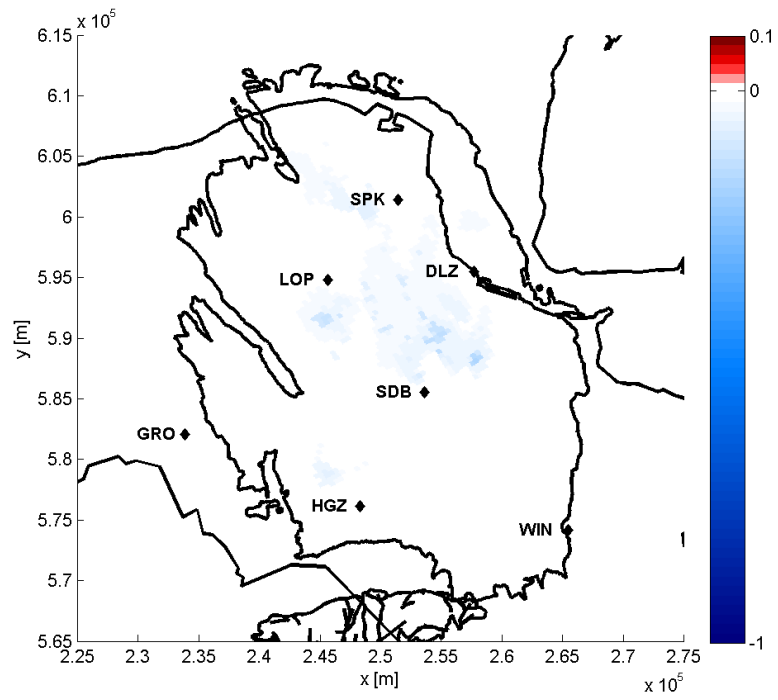
Figuur I-3. Verschil in relatieve seismische dreiging tussen het 30_0 scenario en het kabinetsbesluit scenario.



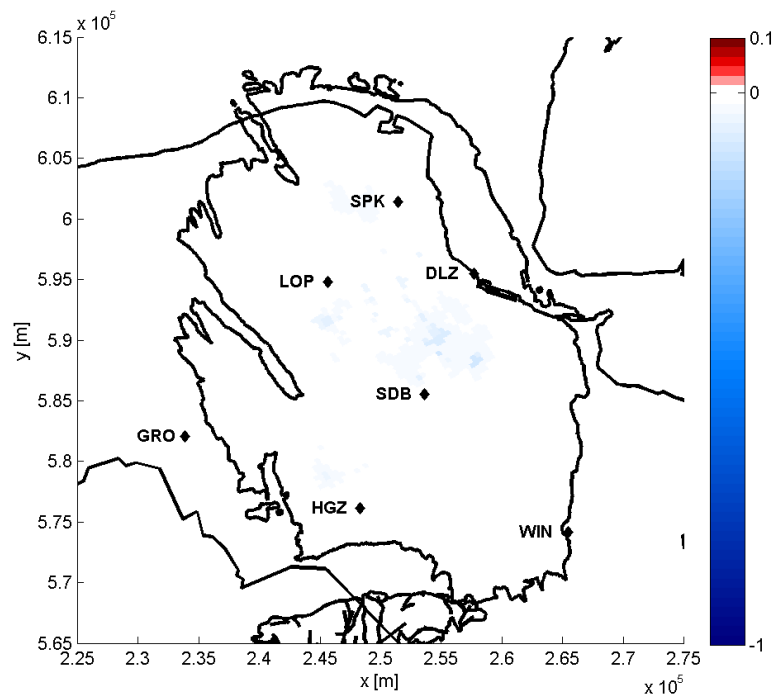
Figuur I-4. Verschil in relatieve seismische dreiging tussen het 35_0 scenario en het kabinetsbesluit scenario.



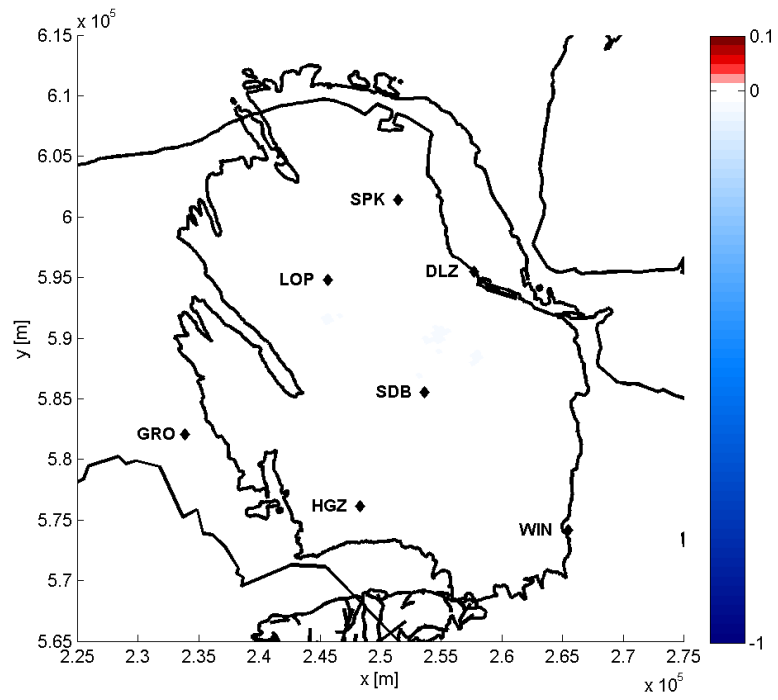
Figuur I-5. Verschil in relatieve seismische dreiging tussen het 40_0 scenario en het kabinetsbesluit scenario.



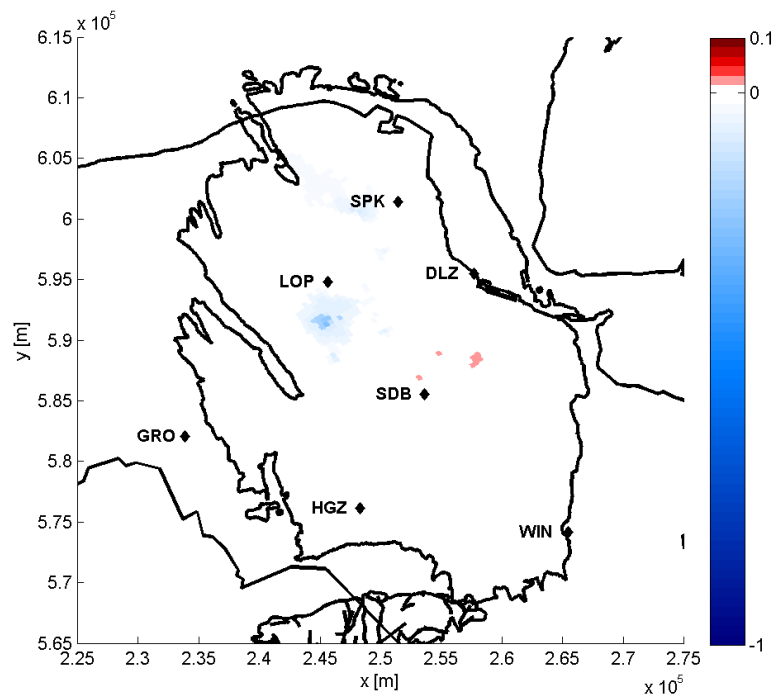
Figuur I-6. Verschil in relatieve seismische dreiging tussen het 30_3 scenario en het kabinetsbesluit scenario.



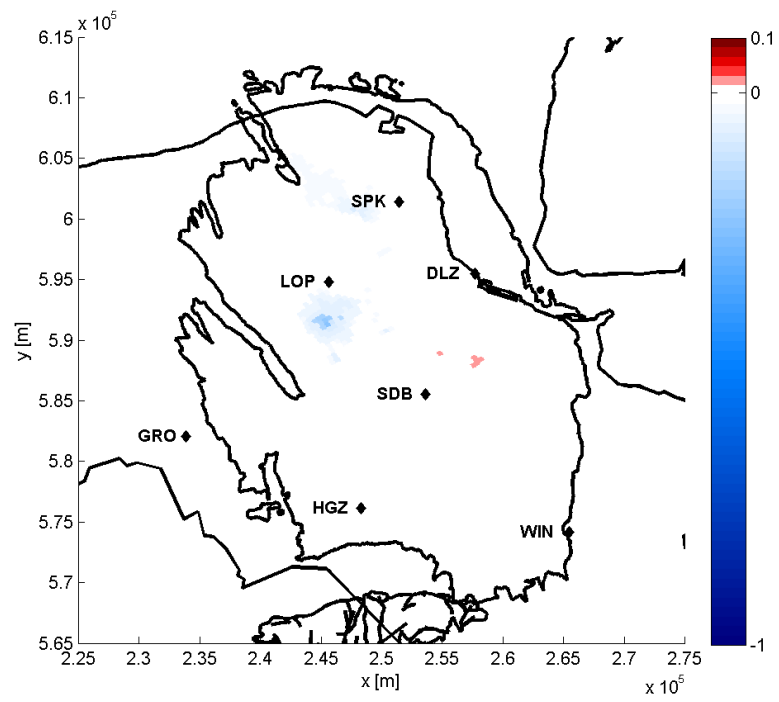
Figuur I-7. Verschil in relatieve seismische dreiging tussen het 35_3 scenario en het kabinetsbesluit scenario.



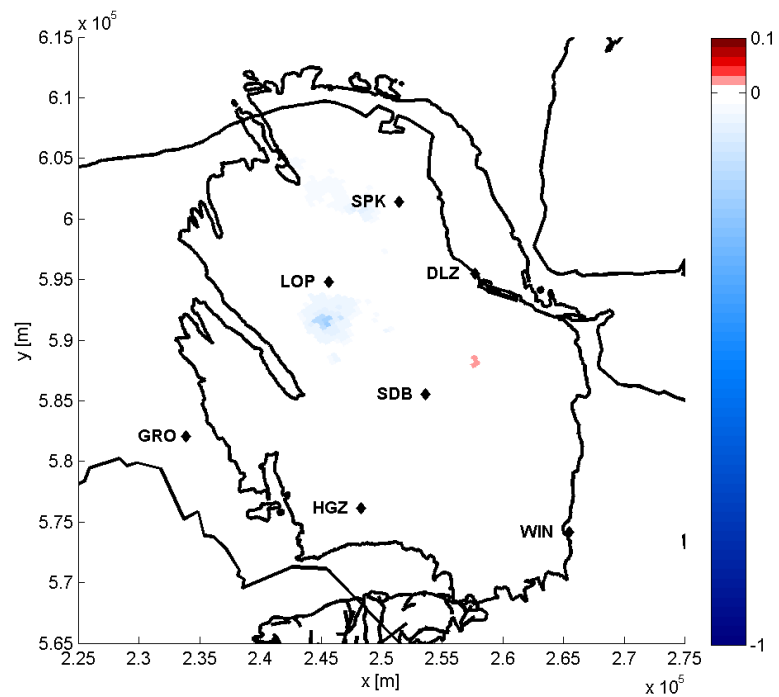
Figuur I-8. Verschil in relatieve seismische dreiging tussen het 40_3 scenario en het kabinetsbesluit scenario.



Figuur I-9. Verschil in relatieve seismische dreiging tussen het 40_0 scenario en het 40_3 scenario.



Figuur I-10. Verschil in relatieve seismische dreiging tussen het 35_0 scenario en het 35_3 scenario.



Figuur I-11. Verschil in relatieve seismische dreiging tussen het 30_0 scenario en het 30_3 scenario.